



Ruben André Cardigos Borges

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Implicações do Planeamento Urbano na Gestão Energética do Edificado

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Rui Noel Alves Vera Cruz, FCT-UNL
Co-orientadora: Prof.^a Doutora Ana Catarina Pinto de Sousa da Cruz
Lopes, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Daniel Aelenei
Arguente: Prof. Doutora Maria Paulina S. F. Rodrigues
Vogal: Prof. Doutor Rui N. A. Vera-Cruz



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2017

“Copyright” de Ruben André Cardigos Borges, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar ao meu orientador, Professor Rui Noel Alves Vera-Cruz pela preciosa ajuda, apoio e disponibilidade demonstrados ao longo deste trabalho.

À minha co-orientadora, Professora Ana Catarina Pinto de Sousa da Cruz Lopes, pela disponibilidade, sugestões e ajuda na formatação da minha dissertação.

A todos os meus amigos e à minha namorada Sílvia, pelos momentos bem passados e pelas memórias que não vou esquecer.

À minha mãe, Isabel que sempre me apoiou. Sem ela nada seria possível. Obrigado.

Pelo carinho e paciência, um agradecimento a toda a minha família, em especial ao meu irmão Sebastião e a todas as minhas tias, tios e primos.

RESUMO

Todos os anos a população mundial aumenta. No entanto, os recursos naturais do planeta Terra mantêm-se os mesmos. O constante crescimento populacional acaba por aumentar a pressão sobre os já escassos recursos existentes.

O mundo nos dias que hoje correm enfrenta então um grande desafio, combater o aquecimento global e encontrar substituto para algumas matérias-primas que estão perto de se esgotar.

Torna-se então necessário apostar em matérias-primas não poluentes, em fontes de energia renováveis e explorar de modo racional os recursos existentes, evitando ao máximo desperdícios.

Nos dias de hoje mais de metade da população mundial vive em áreas urbanas. É nestas que se registam os maiores consumos de recursos energéticos. Espera-se que estes valores venham a aumentar.

Cabe então ao planeamento urbano a tarefa de desenhar cidades que sejam capazes de acomodar tanto o aumento populacional, como de diminuir ao máximo as necessidades energéticas de todos os elementos integrantes da cidade, promovendo-se deste modo uma melhor gestão energética de todos os recursos existentes.

No entanto, o modo como o planeamento vem contribuindo para a definição da malha urbana nem sempre contribui para a manutenção das condições de conforto térmico no interior dos edifícios, principalmente com base na orientação solar. Esta situação acaba por originar consumos de energia desnecessários.

A seguinte dissertação insere-se então na temática da eficiência energética. Neste contexto, procurou-se estudar que influência teriam diferentes soluções urbanísticas nas necessidades energéticas apresentadas pelos elementos constituintes de uma cidade.

Deste modo em primeiro lugar, para diferentes tipos de soluções construtivas, procurou-se determinar qual a melhor geometria a dar a um elemento de modo a minimizar suas necessidades energéticas.

Em segundo lugar, estudaram-se as necessidades energéticas apresentadas pelo dito elemento, quando inserido em diferentes tipos de malhas urbanas. Neste contexto, procurou-se perceber de que modo a largura das ruas e a altura dos edifícios que a constituem, iria influenciar as necessidades energéticas apresentadas por este.

Em último lugar, para um edifício real, procurou-se determinar que efeitos produziram diferentes tipos de ocupação do seu espaço exterior, nas necessidades energéticas para climatização do seu espaço interior.

No presente estudo, todas as necessidades energéticas apresentadas foram determinadas com recurso ao software informático EnergyPlus.

Palavras-chave: Planeamento Urbano; Eficiência energética; Gestão energética; Climatização; Conforto térmico; Orientação solar; EnergyPlus; Urbanismo.

ABSTRACT

Every year the world population increases. However, the Earth's natural resources remain the same. The constant growth of the population has increased the pressure on already scarce resources.

The world today is facing a major challenge, combating global warming and finding substitute for some raw materials that are close to being exhausted.

It is therefore necessary to invest in non-polluting raw materials, in renewable energy sources and to exploit in a rational way the existing resources, avoiding waste as much as possible.

Nowadays, more than half of the world's population lives in urban areas, where the highest consumption of energy resources is recorded. It is expected that these figures will increase.

Urban planning then has the task of designing cities that are capable of accommodating both population growth and of minimizing the energy needs of all elements of the city, thus promoting better energy management of all existing resources.

However, the way planning has contributed to the definition of the urban network does not always contribute to the maintenance of thermal comfort conditions inside buildings, mainly based on solar orientation. This leads to unnecessary energy consumption.

The following dissertation then falls into the theme of energy efficiency. In this context, it was tried to study what influence would have different urbanistic solutions in the energetic necessities presented by the constituent elements of a city.

First, for different types of constructive solutions, we tried to determine the best geometry to give an element in order to minimize its energy needs.

Secondly, the energy requirements presented by this element were studied, when it was inserted in different types of urban meshes. In this context, it was tried to understand how the width of the streets and the height of the buildings that constituted it would influence the energy needs presented by this one.

Finally, for a real building, it was tried to determine what effects would produce different types of occupation of its outer space, in the energy needs for air conditioning of its interior space.

In the present study, all energy needs presented were determined using EnergyPlus software.

Keywords: Urban Planning; Energy efficiency; Energy management; Climatization; Thermal comfort; Solar Orientation; EnergyPlus; Urbanism.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE MATÉRIAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
LISTA DE AREVIATURAS E SIGLAS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do tema.....	1
1.2. Objetivo e motivação	1
1.3. Metodologia e estrutura da dissertação	2
2. ESTADO DA ARTE.....	3
2.1. Situação energética.....	3
2.1.1. Mundial	3
2.1.2. Portugal	5
2.2. Fontes de energia.....	8
2.2.1. Fontes de energia não renovável	8
2.2.2. Fontes de energia renováveis	9
2.3. Políticas energéticas	10
2.4. Eficiência energética em edifícios.....	11
2.5. Conforto térmico	12
2.6. Planeamento urbano	14
2.6.1. Conceito e história.....	14
2.6.2. Planeamento urbano em Portugal.....	18
2.7. Planeamento urbano e eficiência energética	19
3. GEOMETRIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	23
3.1. Enquadramento.....	23
3.2. Proposta de estudo.....	24
3.3. Área e geometrias.....	24
3.4. Volume	25
3.5. Orientações.....	26
3.6. Localização e clima.....	27
3.7. Características do espaço interior.....	30
3.8. Soluções construtivas	32
3.8.1. Solução base (SB)	33
3.8.2. Melhoria 1 (M1).....	34
3.8.3. Melhoria 2 (M2).....	35

3.9.	Análise e discussão de resultados.....	36
3.9.1.	Temperaturas interiores médias.....	36
3.9.2.	Temperaturas interiores máximas e mínimas	38
3.9.3.	Temperaturas de conforto.....	39
3.9.4.	Período de funcionamento da unidade de climatização	43
3.9.5.	Necessidades energéticas	50
4.	MALHA URBANA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	57
4.1.	Enquadramento.....	57
4.2.	Proposta de estudo.....	58
4.3.	Considerações gerais	58
4.4.	Forma e orientação da malha urbana.....	59
4.5.	Análise e discussão de resultados.....	63
4.5.1.	Malha ortogonal quadrada.....	63
4.5.2.	Malha ortogonal retangular	81
5.	CASO DE ESTUDO – MORADIA QUINTA DE VALADARES	89
5.1.	Enquadramento.....	89
5.2.	Proposta de estudo.....	89
5.3.	Descrição da envolvente.....	90
5.4.	Descrição do edifício.....	91
5.5.	Cenários.....	95
5.6.	Análise e discussão de resultados.....	97
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
6.1.	Conclusão.....	103
6.2.	Desenvolvimentos Futuros.....	104
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	ANEXOS.....	109
	Anexo I – Geometria e eficiência energética	109
	Anexo II – Malhas urbana e eficiência energética	113
	Anexo III – Caso de Estudo – Moradia Quinta de Valadares	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Crescimento populacional, previsões.	3
Figura 2.2 – Crescimento económico mundial, previsões.....	4
Figura 2.3 – Consumo de recursos energéticos a nível mundial, projeções.....	5
Figura 2.4 – Taxa de dependência energética, Portugal.....	6
Figura 2.5 – Consumo de energia, Portugal.	7
Figura 2.6 - Fontes de energia primária, Portugal.	7
Figura 2.7 – Consumo de energia por setor, Portugal.	8
Figura 2.8 – Classificação energética de edifícios	12
Figura 2.9 – Mecanismos termorreguladores, sensação de frio.	13
Figura 2.10 – Mecanismos termorreguladores, sensação de calor.	13
Figura 2.11 – Exposição solar, malha rádio concêntrica.....	20
Figura 3.1 – Esquema representativo de análise geométrica.....	25
Figura 3.2 – Grupo de orientações analisado.	27
Figura 3.3 - Temperaturas médias exteriores.	28
Figura 3.4 - Variação de temperaturas.	29
Figura 3.5 - Temperatura média interior, SB.	36
Figura 3.6 - Temperatura média interior, M2.....	37
Figura 3.7 - Temperaturas interiores médias.....	37
Figura 3.8 - Temperaturas interiores mínimas.	38
Figura 3.9 - Temperaturas interiores máximas.....	39
Figura 3.10 - Total de temperaturas abaixo da temperatura de conforto, SB.....	40
Figura 3.11 - Total de temperaturas abaixo da temperatura de conforto, M2.	40
Figura 3.12 - Comparação de temperaturas totais abaixo 18°C.	41
Figura 3.13 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto, SB.....	41
Figura 3.14 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto, M2.	42
Figura 3.15 - Comparação de temperaturas totais acima de 25°C.....	43
Figura 3.16 - Horas de funcionamento em período de aquecimento, SB.....	44
Figura 3.17 - Horas de funcionamento em período de aquecimento, M2.	45
Figura 3.18 - Comparação de horas de funcionamento em período de aquecimento.....	45
Figura 3.19 - Horas de funcionamento em período de arrefecimento, SB.	46
Figura 3.20 - Horas de funcionamento em período de arrefecimento, M2.	47
Figura 3.21 - Comparação de horas de funcionamento em período de arrefecimento.	48
Figura 3.22 - Horas totais de funcionamento da unidade de climatização, SB.	48
Figura 3.23 - Horas totais de funcionamento da unidade de climatização, M2.	49
Figura 3.24 - Comparação de horas de funcionamento totais da unidade de climatização.	50
Figura 3.25 - Necessidades energéticas período de aquecimento, SB.	51
Figura 3.26 - Necessidades energéticas período de aquecimento, M2.....	51
Figura 3.27 - Comparação de necessidades energéticas em período de aquecimento.	52
Figura 3.28 - Necessidades energéticas período de arrefecimento, SB.....	52
Figura 3.29 - Necessidades energéticas período de arrefecimento, M2.	53
Figura 3.30 - Comparação de necessidades energéticas em período de arrefecimento.....	54
Figura 3.31 - Necessidades energéticas totais para climatização, SB.	55
Figura 3.32 - Necessidades energéticas totais para climatização, M2.	55
Figura 3.33 - Comparação de necessidades energéticas totais.	56
Figura 4.1 - Planta das malhas urbanas analisadas.....	59
Figura 4.2 – Alçado representativo das duas malhas urbanas analisadas.....	60
Figura 4.3 – Denominação das orientações da malha ortogonal quadrada.	61
Figura 4.4 - Denominação do primeiro grupo de orientações da malha ortogonal retangular. ...	62

Figura 4.5 - Denominação do segundo grupo de orientações da malha ortogonal retangular.	62
Figura 4.6 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, $d=h$, SB.	64
Figura 4.7 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, $d=h$, M2.	64
Figura 4.8 - Exposição solar em função da largura das ruas e da altura dos edifícios, $d=h$	65
Figura 4.9 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, altura de 3m, SB.	66
Figura 4.10 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, altura de 3m, M2....	67
Figura 4.11 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, $d=18m$, SB.	68
Figura 4.12 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, $d=18m$, M2.	69
Figura 4.13 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, $d=h$, SB.	70
Figura 4.14 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, $d=h$, M2.	70
Figura 4.15 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, $h=3m$, SB.	71
Figura 4.16 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, $h=3m$, M2.	72
Figura 4.17 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, $d=18m$, SB.	73
Figura 4.18 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, $d=18m$, M2.	74
Figura 4.19 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, $d=h$, SB.	75
Figura 4.20 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, $d=h$, M2.	76
Figura 4.21 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, $h=3m$, SB. .	77
Figura 4.22 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, $h=3m$, M2..	78
Figura 4.23 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, $d=18m$, SB.	79
Figura 4.24 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, $d=18m$, M2.	80
Figura 4.25 - Necessidades energéticas para aquecimento, malha retangular, $d=h$, SB.	81
Figura 4.26 - Necessidades energéticas para aquecimento, malha retangular, $d=h$, M2.	82
Figura 4.27 - Necessidades energéticas para arrefecimento, malha retangular, $d=h$, SB.	83
Figura 4.28 - Necessidades energéticas para arrefecimento, malha retangular, $d=h$, M2.	84
Figura 4.29 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha retangular, $d=h$, SB. ...	86
Figura 4.30 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha retangular, $d=h$, M2. ..	88
Figura 5.1 - Localização do edifício em estudo.	90
Figura 5.2 - Planta da moradia unifamiliar em estudo, adaptado de Godinho.	92
Figura 5.3 - Cenário 4, representação esquemática do modelo analisado.	96
Figura 5.4 - Cenário 5, representação esquemática do modelo analisado.	96
Figura 5.5 - Modelo da moradia ensaiado e gerado pelo EnergyPlus.	97
Figura 5.6 - Temperaturas interiores médias anuais.	98
Figura 5.7 - Temperaturas interiores mínimas anuais.	98
Figura 5.8 - Temperaturas interiores máximas anuais.	99
Figura 5.9 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto.	100
Figura 5.10 - Tempos de funcionamento (horas).	101
Figura 5.11 - Energia total para climatização.	101
Figura A.1 - Temperatura interior média, M1.	109
Figura A.2 - Total de temperaturas abaixo da temperatura de conforto. M1.	109
Figura A.3 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto M1.	110
Figura A.4 - Horas de funcionamento em período de aquecimento M1.	110
Figura A.5 - Horas de funcionamento em período de arrefecimento M1.	111
Figura A.6 - Horas totais de funcionamento da unidade de climatização M1.	111
Figura A.7 - Necessidades energéticas período de aquecimento M1.	112
Figura A.8 - Necessidades energéticas período de arrefecimento M1.	112
Figura A.9 - Necessidades energéticas totais para climatização M1.	113
Figura A.10 - Necessidades energéticas totais para climatização, quadrada, N/S E/W, SB.	113
Figura A.11 - Necessidades energéticas totais para climatização, retangular N/S, SB.	114
Figura A.12 - Necessidades energéticas totais para climatização, quadrada, N/S E/W, M2. ...	114
Figura A.13 - Necessidades energéticas totais para climatização, etangular N/S, M2.	115
Figura A.14 - Cenário 5, modelo analisado, EnergyPlus.	115

Figura A.15 – Caso de estudo, modelo analisado, EnergyPlus	116
------------------------------------------------------------------	-----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Formas geométricas analisadas.	24
Tabela 3.2 – Temperaturas do solo.	28
Tabela 3.3 – Horário de ocupação.	31
Tabela 3.4 – Horário de funcionamento de equipamentos elétricos.	31
Tabela 3.5 – Horário de iluminação.	31
Tabela 3.6 – Paredes exteriores, SB.	33
Tabela 3.7 – Cobertura, SB.	33
Tabela 3.8 – Pavimento térreo, SB.	33
Tabela 3.9 – Paredes exteriores, M1.	34
Tabela 3.10 – Cobertura, M1.	34
Tabela 3.11 – Pavimento térreo, M1.	34
Tabela 3.12 – Paredes exteriores, M2.	35
Tabela 3.13 – Cobertura, M2.	35
Tabela 3.14 – Pavimento térreo, M2.	35
Tabela 4.1 – Larguras de rua analisadas.	60
Tabela 4.2 – Altura dos edifícios existentes em torno do modelo elementar.	60
Tabela 4.3 – Combinações de larguras de ruas com diferentes alturas da massa edificada.	61
Tabela 5.1 – Largura das ruas entre o quarteirão principal e a envolvente.	91
Tabela 5.2 – Altura dos elementos existentes na envolvente.	91
Tabela 5.3 – Áreas e volumes das divisões.	91
Tabela 5.4 – Área de fachadas.	92
Tabela 5.5 – Paredes exteriores.	93
Tabela 5.6 – Elementos estruturais (vigas e pilares).	93
Tabela 5.7 – Pavimento térreo.	93
Tabela 5.8 – Cobertura exterior.	94
Tabela 5.9 – Paredes interiores.	94
Tabela 5.10 – Vãos envidraçados.	94
Tabela 5.11 – Resumo de cenários analisados.	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADENE - Agência para a Energia

AGENAL - Agência Municipal de Energia de Almada

APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers

BP - British Petroleum

CEF - Conserve Energy Future

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia

DSOT - Direção de Serviços de Ordenamento do Território

EEA - European Environment Agency

EIA - United States Energy Information Agency

ENI - Eniscuola Energy and Environment

HSE – Health and Safety Executive

HVAC – Heating, ventilation, and air conditioning

IEA - International Energy Agency

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

kTep – Tonelada equivalente de petróleo

M1 – Melhoria 1

M2 – Melhoria 2

ONU – Organização das Nações Unidas

PDM – Plano diretor Municipal.

PP – Plano de Pormenor

PPP – Purchasing Power Parity

PU – Plano de Urbanização

REGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

SB – Solução Base

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

U – Coeficiente de Transmissão Térmica

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

O consumo de recursos energéticos a nível mundial têm aumentando de tal forma, que a própria sustentabilidade do nosso planeta está posta em causa.

Nos países de primeiro mundo a busca contínua por uma melhor qualidade de vida, conforto e comodidade conduz habitualmente ao aumento do consumo de recursos. Este aumento está na maior parte das vezes relacionado com a produção de bens de consumo, na integração de novas tecnologias ou associado a novos serviços.

Nos países em desenvolvimento o consumo de matérias-primas é ainda maior, visto que, nestes existe uma constante tentativa de aproximação das condições de qualidade de vida às verificadas nos países de primeiro mundo. Estes acabam por ser obrigados a gastar uma enorme quantidade de recursos naturais na eterna busca da igualdade. Esta situação conduz, portanto, a um ciclo interminável que se traduz num contínuo aumento do consumo de recursos naturais.

O crescimento da população mundial irá acabar por agravar este problema; mais pessoas acabarão por gastar cada vez mais recursos.

Atualmente, mais de metade da população mundial vive em áreas urbanas; é nestas que se registam os maiores consumos de recursos energéticos.

O consumo de recursos energéticos dentro de uma cidade, depende da sua organização, boas organizações conduzem a menores consumos energéticos. É aqui que o planeamento urbano pode e deve atuar. Deve procurar-se um planeamento urbano sustentável, que beneficie a eficiência energética de todos os elementos constituintes da cidade, sem prejuízo da manutenção das condições de conforto dos seus habitantes.

O comportamento térmico dos edifícios constituintes de uma cidade depende, ainda que não só, da forma da cidade, ora, através do planeamento urbano, é possível moldar este espaço. Deste modo vamos ter uma interação direta entre o planeamento urbano e o comportamento térmico dos edifícios. Pode, neste caso, o planeamento urbano melhorar ou piorar a eficiência energética dos mesmos.

Esta possível promoção da eficiência energética, vem de encontro à redução do consumo de matérias-primas, aumento da sustentabilidade e diminuição da pressão que se coloca sobre o planeta.

Um bom planeamento urbano deve procurar tanto quanto possível melhorar a gestão energética de todos os elementos inseridos no espaço urbano.

1.2. Objetivo e motivação

A cidade é reflexo de modelos de planeamento decorrentes de dinâmicas que se suportam em parâmetros que influenciam o seu desempenho. O modo como o planeamento vem contribuindo para a definição da malha urbana, nem sempre observa o conforto térmico dos edifícios, principalmente com base na orientação solar.

A seguinte dissertação tem por objetivo principal estudar de que forma as soluções urbanísticas podem influenciar a sensação de conforto térmico no interior dos edifícios, procurando tanto quanto possível dispensar a climatização de modo a otimizar a gestão energética.

A busca pela dispensa da climatização conduzirá a um maior eficiência energética do edificado. No entanto, os edifícios dentro de uma cidade tendem a ser diferentes entre si. Estas diferenças estão relacionadas com uso, idade, tipo de construção e finalidade de cada um.

Dentro de uma cidade não existe um edifício modelo. Diferentes edifícios acabarão por ter diferentes necessidades energéticas. No entanto, partindo de características básicas comuns a todos os edifícios, será possível chegar a um modelo que não sendo um edifício real, permitirá verificar de que modo as necessidades energéticas dos edifícios se alteram quando dispostos a diferentes tipos de situações.

Neste contexto tentar-se-á determinar de que forma a geometria de um edifício influencia o seu desempenho energético. Determinar uma geometria que diminua as necessidades energéticas dos edifícios, poderá servir de base para o desenho geral do espaço urbano.

Adicionalmente estudar-se-á, qual a influência que diferentes malhas urbanas produzirão no desempenho energético dos edifícios. Adaptar tanto quanto possível a malha urbana às necessidades energéticas dos edifícios de uma cidade, acabará por ser positivo do ponto de vista da promoção da eficiência energética dos mesmos.

1.3. Metodologia e estrutura da dissertação

O trabalho que se apresenta na seguinte dissertação, foi feito com base em diferentes etapas. A primeira das etapas passou por pesquisar matérias relacionadas com o tema em estudo.

Tendo em conta o estudo bibliográfico efetuado, passou-se para a segunda fase do trabalho.

Com recurso a ferramentas de simulação de desempenho energético, procurou-se determinar de que modo a forma da cidade poderia influenciar o desempenho dos elementos que a constituem.

A terceira fase do trabalho passou por compilar e estudar os resultados obtidos através das várias simulações, para daí poder retirar conclusões.

Em seguida, apresenta-se um pequeno resumo dos temas abordados nos diferentes capítulos da presente dissertação.

No primeiro capítulo que aqui se desenvolve, foi feita uma pequena introdução ao tema da dissertação. Adicionalmente foram expostos os objetivos gerais que se esperariam alcançar.

No segundo capítulo, com base em pesquisas bibliográficas, foram expostos alguns dos temas que se consideraram importantes para o desenvolvimento da dissertação.

No terceiro capítulo, estudou-se de que forma a geometria de um elemento alteraria os seus consumos energéticos.

No quarto capítulo, foi estudado o comportamento térmico de um elemento quando inserido em diferentes tipos de malhas urbanas.

No quinto capítulo, foi analisado um caso de estudo, neste tentou-se perceber que efeito diferentes soluções urbanísticas produziram ao nível do seu desempenho energético.

Por fim no sexto capítulo apresentam-se as conclusões relativas ao trabalho efetuado.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Situação energética

2.1.1. Mundial

A variação do consumo de energia prende-se com vários fatores, entre os quais se destacam o crescimento demográfico e económico. O primeiro relaciona-se com o último, o aumento populacional gera crescimento económico. À medida que a economia mundial cresce, é necessária mais energia para acompanhar o acréscimo do nível de atividade gerada. (BP Energy Outlook, 2016)

Espera-se que o consumo de energia aumente consideravelmente nos próximos anos como resultado do crescimento da população e do desenvolvimento económico. (EIA, 2017)

Em apenas dois séculos a população mundial cresceu mais de sete vezes e até final deste século terá crescido 11 vezes, impondo-se uma pressão crescente sobre os recursos de um planeta que é finito. Nos últimos 60 anos, a população global triplicou, prevendo-se que atinja os oito mil milhões por volta de 2025, começando então a desacelerar o ritmo de crescimento e atingindo os nove mil milhões aproximadamente em 2045 e os 11 mil milhões antes de 2100. (Pedro Jordão, 2017)

A população mundial cresce a uma taxa incrível. Atualmente, a população da Terra aumenta em 60.000 pessoas a cada oito horas, são dois nascimentos a cada segundo em algum lugar do mundo, se continuarmos a crescer a este ritmo, precisamos de mais 50% de energia para sustentar a humanidade em 2050. (Danielle Fisher, 2017)

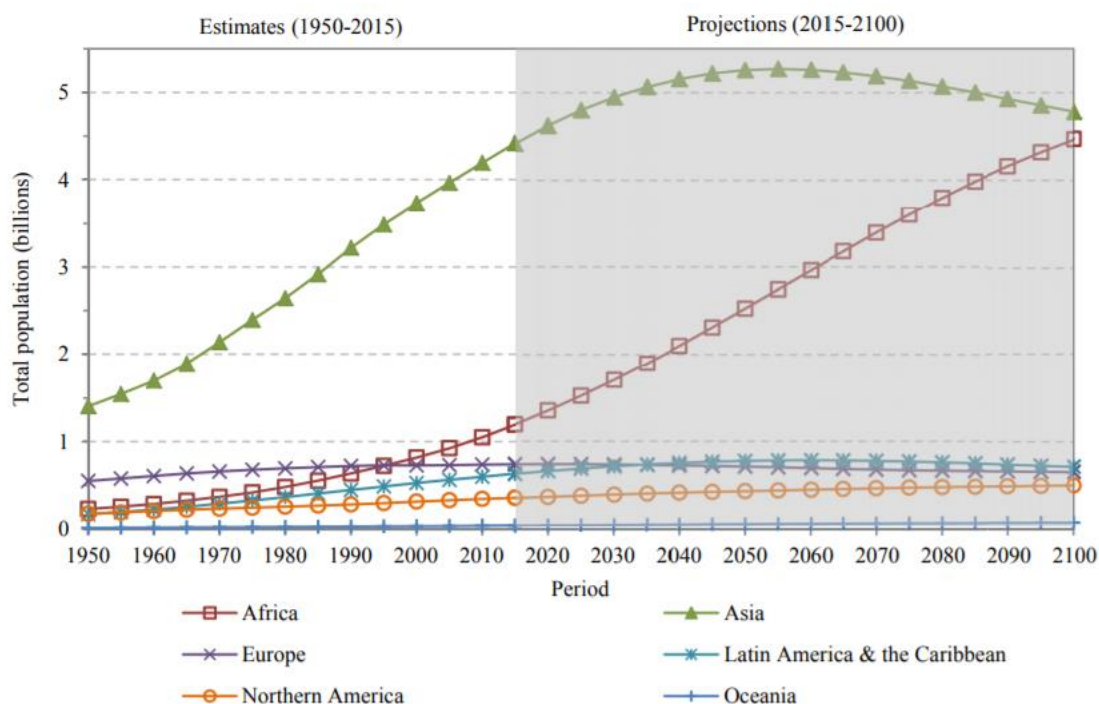


Figura 2.1 - Crescimento populacional, previsões. (ONU, 2017)

Atualmente dos dez países com o maior número de habitantes do mundo, um está na África (Nigéria), cinco na Ásia (Bangladesh, China, Índia, Indonésia e Paquistão), dois na América do Sul (Brasil e México), um na América do Norte (EUA) e um na Europa (área ocidental da Rússia). (O Globo, 2015)

Prevê-se que mais da metade do crescimento antecipado da população global entre o presente e 2050 ocorra em África. Dos 2,2 bilhões de pessoas que poderão vir a fazer parte da população mundial, 1,3 bilhões serão provenientes de África. Espera-se que a Ásia seja o segundo maior contribuinte para este futuro crescimento, sendo responsável por um acréscimo de 750 milhões de pessoas entre 2017 e 2050. África e Ásia serão seguidas pela América Latina e Caribe, América do Norte e Oceânia, onde o crescimento demográfico projetado será muito mais modesto, a Europa será a única região com uma população menor em 2050, comparativamente a 2017. Depois de 2050, África será o maior contribuidor para o crescimento da população mundial. (ONU, 2017)

Globalmente, todos os países procuram formas de estimular o crescimento económico de maneira a criar empregos e melhorar os padrões de vida das populações. No nível mais básico, a produção económica depende do tamanho da população e da produção por pessoa. (EEA, 2016)

Embora o crescimento populacional esteja relacionado às taxas de fertilidade, mortalidade e migração, a produtividade tem determinantes mais complexos. Hoje, entende-se que depende do desenvolvimento de quatro formas fundamentais de capital, humano (conhecimento, habilidades e saúde), social (confiança, normas e instituições), tecnológico (máquinas e infraestrutura) e natural (recursos e ecossistemas). (EEA, 2016)

Muitas vezes, estes capitais são complementares, o valor de um é dependente da presença de outro. Por exemplo, se a riqueza de recursos naturais não for acompanhada pela presença de instituições governamentais efetivas, esta pode alimentar a corrupção e enfraquecer a competitividade, prejudicando assim o crescimento económico. (EEA, 2016)

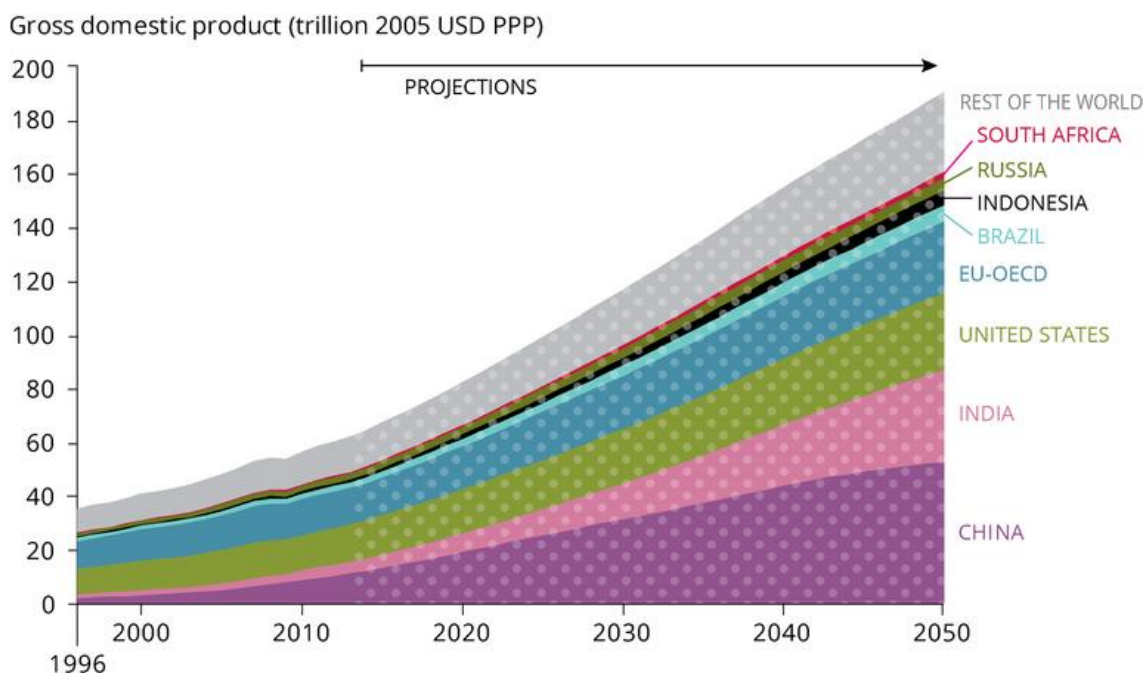


Figura 2.2 – Crescimento económico mundial, previsões. (EEA, 2017)

Na figura 2.2 é visível que a China terá em 2050 a mais forte economia mundial, em segundo lugar vem a Índia, seguida pelos Estados Unidos. A União Europeia vem apenas em quarto lugar.

Espera-se que o crescimento econômico mundial permaneça robusto nas próximas décadas. (EEA, 2016)

As necessidades energéticas vão aumentar e esse aumento da procura virá dos países em desenvolvimento. (ONU, 2009)

O consumo mundial de energia crescerá 28% entre 2015 e 2040. A maior parte desse crescimento será proveniente de países não pertencentes à Organização de Cooperação Económica e Desenvolvimento (OCDE). A Ásia será responsável por mais de 60% do aumento total do consumo mundial de energia de 2015 até 2040. (EIA, 2017)

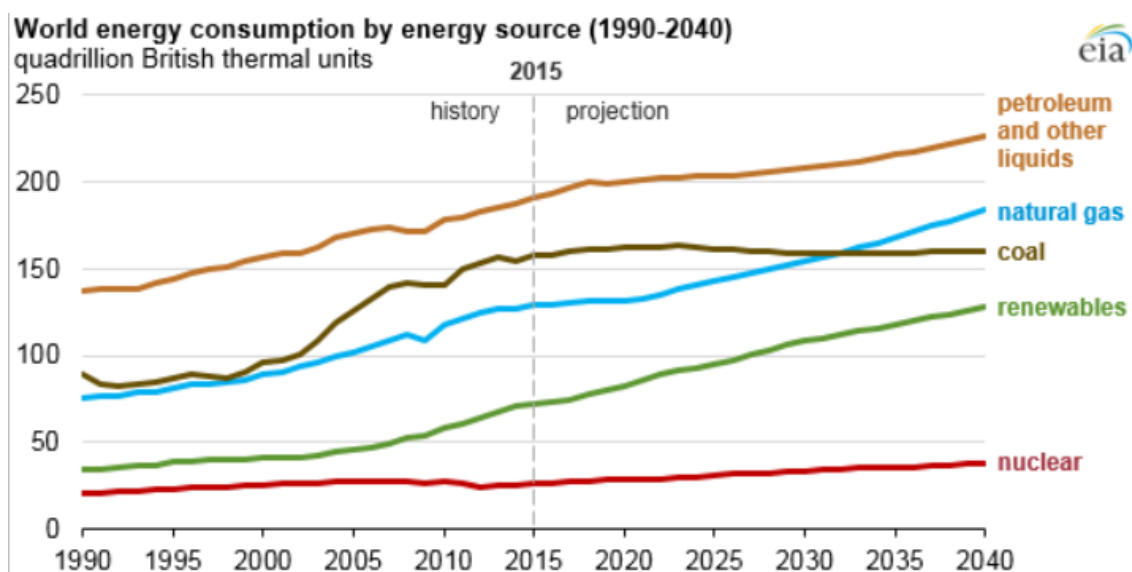


Figura 2.3 – Consumo de recursos energéticos a nível mundial, projeções. (EIA, 2017)

Até 2040, prevê-se um aumento do consumo mundial de energia de todas as fontes de combustível, com exceção da procura de carvão, que deverá permanecer essencialmente na mesma. Espera-se que as energias renováveis sejam a fonte de energia com maior crescimento, com o consumo a aumentar em média 2,3% ao ano entre 2015 e 2040. Em 2040, o petróleo e derivados continuarão a ser a fonte de energia mais consumida, o gás natural sobe para segundo ultrapassando carvão que desce para Terceiro lugar. (EIA, 2017)

2.1.2. Portugal

Historicamente, Portugal apresenta uma dependência energética elevada, entre 80 e 90%, fruto da inexistência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como o petróleo ou gás natural, que têm um peso muito significativo no mix de consumo de energia. A aposta nas renováveis e na eficiência energética, com maior incidência nos últimos anos, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência para níveis inferiores a 80%. No entanto, a variabilidade do regime hidrológico,

associado a uma grande componente hídrica no sistema electrodutor nacional, influência negativamente a dependência energética em anos secos, como foi o caso do ano 2005 ou 2008. (DGEG, 2014)

A dependência energética é calculada a partir da expressão (DGEG,2015):

$$\text{Dependência Energética [\%]} = \frac{\text{Imp} - \text{Exp}}{\text{CEP} + \text{NMI} + \text{AI}} \times 100$$

Em que: Imp - Importações

Exp - Exportações

CEP - Consumo de Energia Primária

NMI - Navegação Marítima Internacional

AI - Aviação Internacional

Em 2013, a dependência energética situou-se nos 73,9%, representando uma redução de 5,4 p.p. face a 2012 e uma redução de 14,9 p.p. face a 2005, ano em que se verificou a dependência energética mais elevada dos últimos anos. Esta redução deve-se em grande parte ao aumento da produção hídrica e eólica e também ao aumento das exportações de produtos petrolíferos. (DGEG, 2014)

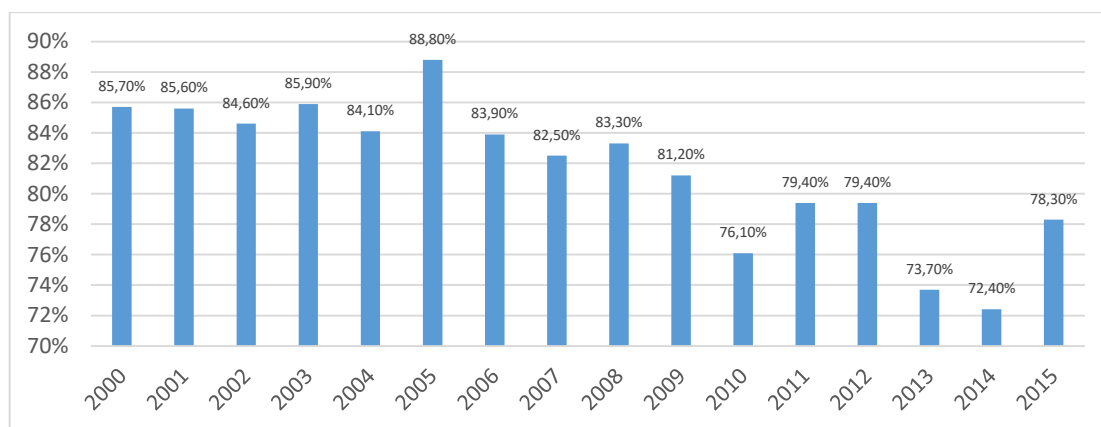


Figura 2.4 – Taxa de dependência energética, Portugal. (DGEG,2016)

A subida da dependência energética, de 2014 para 2015, deveu-se sobretudo ao crescimento das importações de carvão e gás natural, resultante do aumento de consumo no setor electrodutor. (DGEG, 2015)

Portugal registou em 2013 um Consumo de Energia Primária total de 21 704 448 tep, o que configura um aumento de 1,0% face a 2012. (DGEG, 2014)

O valor de consumo de energia primária é o resultado do somatório de todas as fontes de energia primária, carvão, petróleo energético, petróleo não energético, gás natural, energia elétrica,

biomassa, fontes renováveis e ainda que outras fontes não renováveis, que incluem todos os tipos de energia que não se encaixam nas categorias anteriores.

O consumo de energia primária em 2015, subiu 4,9% relativamente a 2014, sobretudo devido ao aumento do consumo de carvão e de gás natural. (DGEG, 2016)

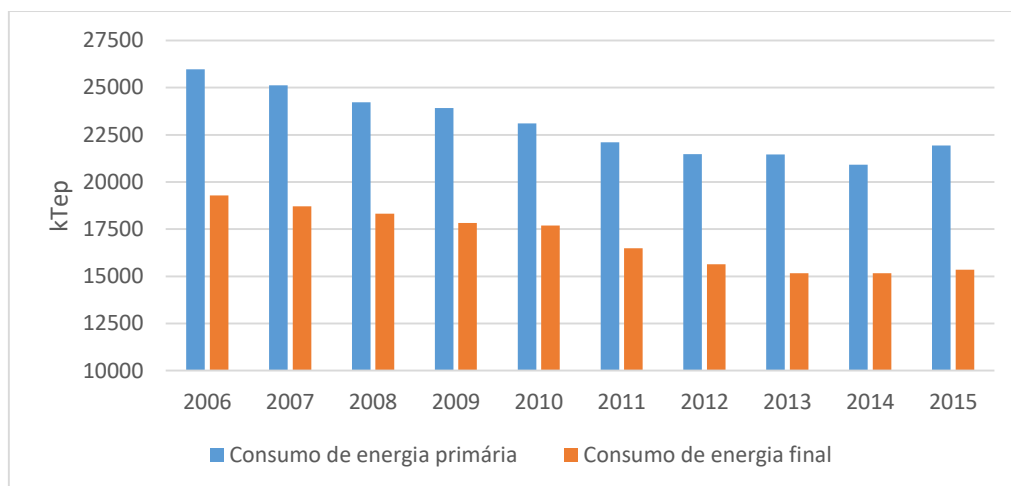


Figura 2.5 – Consumo de energia, Portugal. (DGEG, 2015)

O consumo de energia final aumentou 1,2% relativamente a 2014, devido sobretudo à subida do consumo dos combustíveis rodoviários, gás natural e eletricidade. (DGEG, 2016)

Na figura 2.6, analisando o consumo das diferentes fontes de energia em 2015, verifica-se que o Petróleo é a principal fonte de energia primária, seguido pelo gás natural e carvão.

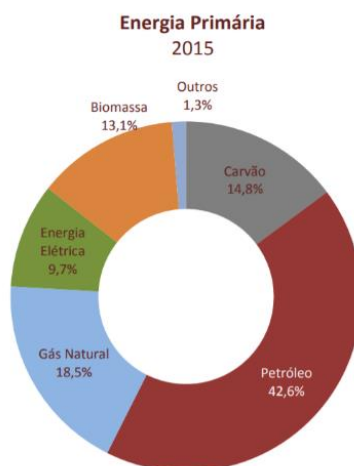


Figura 2.6 - Fontes de energia primária, Portugal. (DGEG, 2016)

De notar que o peso do Petróleo tem vindo a decrescer nos últimos anos (58% em 2004 vs. 44% em 2013), enquanto o peso das Renováveis (14% em 2004 vs. 25% em 2013) e do Gás Natural (13% em 2004 vs. 17% em 2013) aumentaram consideravelmente. (DGEG, 2014)



Figura 2.7 – Consumo de energia por setor, Portugal. (DGEG, 2014)

A nível setorial, o setor dos Transportes (36%) continua a ser o principal consumidor de energia, seguido da Indústria (31%), Doméstico (17%), Serviços (12%) e Agricultura e Pescas (3%). Não se registaram alterações significativas face ao mix de consumo verificado em 2003, no entanto, os setores com exceção da agricultura e pescas, registaram taxas de crescimento médias anuais negativas no período 2004-2013, transportes (-2,6%), indústria (-3,3%), doméstico (-2,0%), serviços (-3,2%) e agricultura e pescas (0,8%). (DGEG, 2014)

2.2. Fontes de energia

Em física a energia é geralmente definida como a capacidade de realizar trabalho. Para nós seres humanos a energia é particularmente importante, pois é graças a ela que entre outras coisas, se torna possível iluminar o interior das habitações e locomover a maior parte dos nossos transportes. A energia provém de diferentes tipos de recursos naturais que são designados por fontes energéticas; a partir destes e por transformação, torna-se possível utilizar a energia no seu estado final para as mais diversas atividades.

As numerosas fontes de energia existentes podem ser classificadas de diferentes maneiras. As fontes primárias de energia podem ser usadas diretamente, como aparecem no ambiente natural, casos do carvão, petróleo, gás natural e madeira. (ENI, 2010)

As fontes secundárias de energia derivam da transformação de fontes primárias de energia; tem-se neste caso o exemplo da gasolina que deriva do tratamento de petróleo bruto. (ENI, 2010)

2.2.1. Fontes de energia não renovável

As fontes de energia não renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e se extinguem com a sua utilização. Uma vez esgotadas, as suas reservas não são regeneradas. (AGENEAL, sem data)

A energia não renovável é a energia que é obtida através de fontes que estão disponíveis na Terra em quantidade limitada. Fontes não renováveis não são amigáveis com o meio ambiente e podem afetar seriamente a saúde. Existem fontes não renováveis sob a forma de combustíveis fósseis, gás natural, petróleo e carvão. (CEF, sem data)

Segundo a CEF, as vantagens de usar energias de fonte não renovável prendem-se principalmente com o preço de exploração e de venda, que é mais baixo comparativamente ao das energias de

fonte renovável. A facilidade de exploração e fiabilidade deste tipo de recursos é também visto como uma vantagem. As desvantagens estão ligadas com as alterações climáticas provocadas pelo uso deste tipo de recursos e com o desaparecimento dos mesmos.

2.2.2. Fontes de energia renováveis

Diz-se que uma fonte de energia é renovável quando não é possível estabelecer um fim temporal para a sua utilização. É o caso do calor emitido pelo sol, da existência do vento, das marés ou dos cursos de água. As energias renováveis são virtualmente inesgotáveis, mas limitadas em termos da quantidade de energia que é possível extrair em cada momento. As principais vantagens resultantes da sua utilização consistem no facto de não serem poluentes e poderem ser exploradas localmente. A utilização da maior parte das energias renováveis não conduz à emissão de gases com efeito de estufa. (AGENEAL, sem data)

Segundo a APREN as fontes de energia renovável podem ser de origem solar, hídrica, eólica, biomassa e geotérmica.

A Energia Hídrica é obtida a partir da energia potencial de uma massa de água e pode ser convertida em energia mecânica (pela rotação de um eixo) através de turbinas hidráulicas. Por sua vez estas podem gerar energia elétrica, como acontece nos aproveitamentos hidroelétricos. Geralmente os aproveitamentos hidroelétricos compreendem barragens, de forma a reter água sob a forma de energia potencial, numa cota elevada. A água é depois libertada do reservatório fluindo através de turbinas, numa cota inferior e por meio de geradores a energia mecânica da turbina é convertida em energia elétrica. (APREN, sem data)

A energia eólica, o que vulgarmente chamamos de vento, é causada por diferenças de pressão ao longo da superfície terrestre, devidas à radiação solar recebida na Terra ser maior nas zonas equatoriais do que nas zonas polares. O vento já foi usado para deslocar barcos à vela, moer cereais ou elevar água dos poços. Atualmente a energia eólica é vista como uma das mais promissoras fontes renováveis de energia, sendo caracterizada como uma tecnologia madura que pode contribuir para a segurança do abastecimento energético, sustentabilidade ambiental e viabilidade económica do sistema. As centrais eólicas têm aerogeradores cujas pás rodam com a força do vento, fazendo rodar o eixo do gerador, que produz eletricidade. Além das instalações em terra (onshore), as centrais eólicas também podem ser instaladas no mar (offshore). (APREN, sem data)

A biomassa é toda a matéria orgânica de origem vegetal ou animal, capaz de se regenerar num curto espaço de tempo e de um modo sustentável. A biomassa compreende os subprodutos da floresta, agricultura, pecuária e os resíduos orgânicos sólidos urbanos. A correta gestão e exploração da biomassa reduz dramaticamente a probabilidade de incêndios florestais, pois contribui para a limpeza das matas, pastagens e recursos florestais. Nas centrais de biomassa florestal, produz-se eletricidade através da queima direta da biomassa, de modo a obter energia calorífica que transforma a água no estado líquido em vapor, que por sua vez, vai mover turbinas e acionar geradores elétricos. Apesar de este processo libertar dióxido de carbono para a atmosfera, o balanço de emissões de CO₂ é nulo, uma vez que as plantas que deram origem ao combustível durante o seu ciclo de vida absorvem quantidades de CO₂ que compensam as emissões. (APREN, sem data)

A energia solar é o nome dado à radiação proveniente do Sol e é uma das vertentes mais importantes das energias renováveis. O aproveitamento desta fonte de energia serve para iluminar espaços interiores de edifícios, aquecimento de águas sanitárias ou produção de eletricidade. A

produção de eletricidade de origem solar é possível através de painéis solares fotovoltaicos ou de painéis solares térmicos. No primeiro caso, quando a radiação solar incide nas células fotovoltaicas a luz absorvida é convertida em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. No segundo caso, usam-se espelhos que concentram a luz solar para aquecer um fluido, gerando vapor que faz rodar as pás de uma turbina, criando um movimento de rotação do eixo do gerador que produz eletricidade. (APREN, sem data)

A energia geotérmica é a energia obtida a partir do calor que provém do interior da Terra. Devido às altas temperaturas, as intrusões magmáticas e outros locais com atividade vulcânica são zonas com elevado potencial geotérmico. Este tipo de energia pode ser utilizado em centrais térmicas, através de uma turbina cujas pás são movidas pelo vapor de água produzido pelo calor da Terra. Este movimento de rotação é transmitido ao eixo de geradores produzindo eletricidade. (APREN, sem data)

2.3. Políticas energéticas

Portugal vem desenvolvendo desde 2008, uma política energética que coloca um forte ênfase na eficiência energética e na promoção das energias renováveis. Estas políticas são as principais ferramentas do governo para combater as mudanças climáticas e diminuir a dependência energética. (IEA, 2016)

A 15 de abril de 2010, foi aprovada a Estratégia Energética Nacional para 2020 (ENE 2020), que veio dar continuidade às anteriores políticas energéticas que vigoravam desde 2005. (IEA, 2016)

As opções de política energética adotadas na ENE 2020, assumiam-se como um fator de crescimento de economia, de promoção da concorrência nos mercados de energia, de criação de valor e de emprego qualificado em sectores com elevada incorporação tecnológica. Pretendeu-se manter Portugal na fronteira tecnológica das energias alternativas, potenciando a produção e exportação de soluções com elevado valor acrescentado, que permitiam ainda diminuir a dependência energética do exterior e reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. (APREN, sem data)

A Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) assenta sobre cinco eixos principais que nela se desenvolvem e detalham, traduzindo uma visão, um conjunto focado de prioridades e um enunciado de medidas que as permitem concretizar. Os cinco eixos principais da ENE 2020 são (APREN, sem data):

Eixo 1 – Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira.

Eixo 2 – Aposta nas energias renováveis.

Eixo 3 – Promoção da eficiência energética.

Eixo 4 – Garantia da segurança de abastecimento.

Eixo 5 – Sustentabilidade económica e ambiental.

Dado o cenário de crise económica registado em Portugal recentemente, a ENE 2020 foi revogada em 2013, sendo substituída pelo Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética (PNAEE) para o período 2013-16 e pelo Plano Nacional de Ação de Energia Renovável (PNAER) para o período 2013-2020. (Resolução do Conselho de Ministros. 2013)

A integração destes dois planos de ação, PNAEE e PNAER, permitiu uma concertação de ação para a realização dos objetivos energéticos nacionais e europeus, minimizando os custos de

investimento e aumentando a competitividade nacional. A interação entre estes dois planos permitiu (IEA,2016):

- Cumprir todos os compromissos assumidos por Portugal no que diz respeito às suas obrigações com a União Europeia;
- Reduzir as emissões de gases de efeito estufa;
- Reforçar a diversificação das fontes primárias de energia, contribuindo para aumentar a segurança do aprovisionamento energético;
- Aumentar a eficiência energética na economia, em particular na administração pública, contribuindo para uma redução das despesas públicas;
- Aumentar para a competitividade económica nacional, reduzindo o consumo de energia e custos de importação.

Portugal tem apostado sucessivamente na redução da sua dependência energética. Fê-lo apostando em medidas que promovam a eficiência energética e incentivando a aposta nas energias renováveis. Cada novo plano apresenta metas mais ambiciosas de modo a economizar energia e reduzir a exposição económica do País às oscilações de preços de fontes energéticas vindas do exterior. (IEA, 2016)

2.4. Eficiência energética em edifícios

Melhorar o desempenho energético dos edifícios é um dos fatores chave para a sustentabilidade energética. (ADENE, 2017)

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética. (ADENE, 2017)

Para fazer face a esta situação, os Estados-Membros da União Europeia, têm promovido um conjunto de medidas que visam melhorar a eficiência energética dos edifícios. (ADENE, 2017a)

Segundo a ADENE (2017), surge em Portugal o SCE, Sistema Nacional de Certificação Energética. Este tem na sua base, o objetivo de apresentar um conjunto de informações a diversos intervenientes do sistema.

Neste contexto, o certificado energético constitui uma ferramenta essencial para o consumidor sobre o nível de eficiência do seu edifício, visto que o edifício certificado é comparado em termos de eficiência com um edifício de referência que cumpre as exigências mínimas de qualidade energética. (ADENE, 2016)

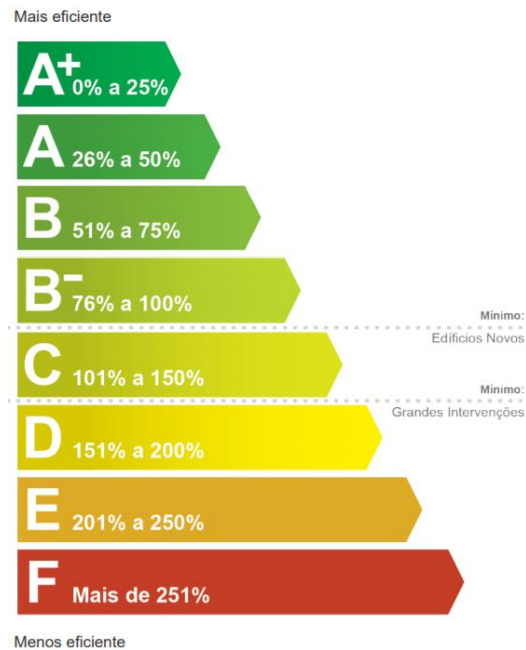


Figura 2.8 – Classificação energética de edifícios (ADENE, 2015)

A classificação energética dos edifícios segue uma escala pré-definida de 8 classes, em que a classe A+, corresponde a um edifício com o melhor desempenho energético e a classe F corresponde a um edifício com o pior desempenho energético. (ADENE, 2017)

Para um edifício ser classificado como A+, apenas deve consumir o mesmo ou menos de 25% da energia consumida pelo edifício de referência.

Nos edifícios novos, apenas se admitem classes energéticas superiores a B-. Já os edifícios existentes poderão apresentar qualquer classe. (ADENE, 2017)

Espera-se que no futuro, os edifícios passem a ser autossuficientes do ponto de vista dos consumos de energia para climatização.

2.5. Conforto térmico

A sensação de conforto térmico trata-se do estado mental de satisfação do homem em relação ao ambiente térmico que o rodeia. (ASHRAE, 2017)

Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode dizer-se que o homem sente conforto térmico. (Lamberts, 2004)

Segundo Lamberts (2004), a temperatura do corpo humano é praticamente constante, variando aproximadamente de 35°C a 37°C. A quantidade de calor libertada pelo organismo depende da atividade desempenhada. Os mecanismos termorreguladores do corpo são ativados quando as condições térmicas do meio ultrapassam certas faixas de frio ou calor.

Segundo Lamberts (2004), nas situações em que, a temperatura do meio ambiente é baixa, o corpo acaba por perder calor em excesso, causando uma sensação de frio. Nesta situação para manter a temperatura interior do corpo dentro dos parâmetros normais, o organismo começa tanto a gerar

calor como a evitar perder calor, verificando-se existir um aumento metabólico, arrepios e vasoconstrição periférica. (Lamberts, 2004)



Figura 2.9 – Mecanismos termorreguladores, sensação de frio. (Lamberts, 2017)

Segundo Lamberts (2004), nas situações em que a temperatura do meio é muito elevada, o corpo tem dificuldade em libertar calor para o exterior, causando uma sensação de calor. Para esta situação o corpo começa a suar, reduz-se o metabolismo e passa a existir o processo de vasodilatação periférica.



Figura 2.10 – Mecanismos termorreguladores, sensação de calor. (Lamberts, 2017)

A sensação de conforto térmico varia de pessoa para pessoa, depende da idade, do sexo, da raça, dos hábitos alimentares, da altura, da atividade desempenhada e do nível de isolamento térmico da roupa utilizada. (Autodesk, 2017)

Segundo Lamberts (2004), as condições do ambiente relacionadas com o conforto são, a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a humidade relativa do ar e a velocidade do ar.

O indicador mais utilizado de conforto térmico está relacionado com a temperatura do ar. Para a maioria das pessoas este indicador é bastante intuitivo e fácil de entender. (HSE, 2017)

Em espaços interiores, as temperaturas devem de oscilar entre 18°C a 25°C e as humidades relativas devem de oscilar entre 50% e 70%. Deste modo garante-se que a sensação de conforto térmico não é afetada. (Fator Segurança, 2017)

Se os ocupantes de um edifício estiverem desconfortáveis, utilizarão meios alternativos para aquecer ou arrefecer o espaço. (Autodesk, 2017)

2.6. Planeamento urbano

2.6.1. Conceito e história

O planeamento urbano é o processo de idealização, criação e desenvolvimento de soluções que visam melhorar ou revitalizar certos aspetos dentro de uma determinada área urbana ou do planeamento de uma nova área urbana numa determinada região, tendo como objetivo principal, proporcionar aos habitantes uma melhoria na qualidade de vida. (Cardoso, 2010)

O planeamento urbano emergiu como uma disciplina académica na Grã-Bretanha, o primeiro curso de planeamento urbano começou na Universidade de Liverpool em 1909, e o primeiro programa norte-americano foi estabelecido na Universidade de Harvard em 1924. (Fainstein, 2007)

Embora o planeamento urbano como disciplina seja relativamente recente, o objeto sobre o qual este atua tem uma história longa e complexa. Todas as, cidades por mais antigas que sejam, apresentam traços de planeamento prévio. Existe sempre uma adequação da sua forma física à função que se lhe destina.

As cidades são artefactos inseridos num Mundo natural preexistente, deste modo as restrições e condicionamentos naturais devem ser sempre respeitados. (C. Ellis, 2010)

As cidades e o planeamento urbano são indissociáveis; um não existe sem o outro, como tal é importante perceber porque é que as cidades apareceram, qual a sua função, de que modo evoluíram e de que modo foi o planeamento urbano moldando as cidades.

Segundo C. Ellis (2010), os primeiros seres humanos levavam uma vida nómada, dependiam essencialmente da caça e da coleta de frutos para sobreviver. Com o passar do tempo a humanidade evoluiu, tornando-se capaz de domesticar alguns animais e de cultivar sistematicamente algumas espécies de plantas, esta capacidade recém-adquirida, fez com que alguns seres humanos deixassem a vida de nómade e comesçassem a assentar.

Os primeiros verdadeiros assentamentos urbanos apareceram em torno de 3.000 a.c. na Mesopotâmia antiga, no Egito e no Vale do Indo. (C. Ellis, 2010)

Na antiguidade os primeiros aglomerados urbanos tendiam a formar-se perto de fontes de água potável. A água era o bem mais essencial à sobrevivência do homem, com ela era possível responder às necessidades de hidratação da população, dar resposta a questões de higiene e regar os campos agrícolas. Deste modo locais perto de rios e de cursos de água subterrâneos, eram os privilegiados aquando da formação de novas “cidades”.

No Egito encontram-se os mais antigos vestígios de organização habitacional. Na cidade de Kahun, existem restos de habitações que serviram para alojar os trabalhadores que haviam de erguer a Pirâmide de Sesóstris II. Estas encontravam-se organizadas segundo um traçado geométrico regular, que reunia pequenas habitações em blocos retangulares, separados por ruas

muito estreitas para facilitar o acesso às diversas células e que serviam ao mesmo tempo de canais de escoamento das águas das chuvas e dos despejos. (Goitia, 1996)

Ainda no Egito são numerosos os restos de grandes construções religiosas, em torno destas acabavam por se construir verdadeiras cidades-templos, com várias avenidas e praças monumentais. Nos grandes santuários foi adotada uma estrita coordenação das partes, com rigoroso critério geométrico, mas também com o desejo de adaptação ao terreno de modo a produzir um efeito cenográfico que transmitisse grandiosidade. (Goitia, 1996)

Segundo Goitia (1996), no período da Grécia Clássica, passaram a existir novos tipos de cidade. Os primeiros centros habitacionais helénicos preocupavam-se pouco com princípios estéticos e de regularidade e mais com princípios de defesa e de promoção de comércio. Deste modo estes pequenos núcleos cresceram desordenadamente, não apresentando qualquer ideia de conjunto. O desenvolvimento da democracia levou ao aparecimento de novos elementos urbanísticos. Além dos templos dedicados ao culto dos deuses surgem na cidade vários edifícios dedicados ao bem público e ao desenvolvimento da democracia. Em todas as cidades gregas passam a haver mercados, praças, edifícios de administração pública e edifícios de lazer.

Foi nesta época que apareceu a primeira teoria racional de cidade, esta procurava resolver as deficiências da cidade natural ou histórica. Hipódamo foi o homem que levou a cabo esta tarefa, tornando-se no primeiro urbanista com critério que o mundo conheceu. (Goitia, 1996)

Segundo Goitia (1996), Hipódamo foi o responsável pela criação da cidade em quadrícula. Este modelo de cidade passou a ser o adotado para as novas colónias gregas, estas podiam ser construídas sem qualquer limitação topográfica pois bastava ao seus fundadores escolher um local adequado à planta de cidade já previamente desenhada.

Segundo Cardoso (2010), no período do Império Romano foram construídas várias cidades que ajudaram a consolidar e a fortalecer o poder de Roma sobre os povos conquistados. A cidade de Roma apresentava uma forma desordenada, causada por séculos de crescimento orgânico, no entanto algumas zonas destinadas ao culto dos deuses, áreas de lazer e de serviços públicos apresentavam uma geometria bem definida e diferenciada. Em contraste com a cidade de Roma, as novas colónias e fortificações militares, foram construídas com base numa variação do método quadricular já usado pelos Gregos. Muitas das mais importantes cidades europeias cresceram a partir de pequenas colónias romanas com formato quadricular, casos de Londres e Paris.

Segundo Goitia (1996), o desaparecimento do império romano levou à extinção de muitas cidades, neste período a população espalhou-se por zonas mais rurais. Na idade Média o sistema feudal moldou o modo de vida das populações, o povo era obrigado a servir um senhor feudal que por sua vez servia um rei. Deste modo a maioria do povo trabalhava os campos e vivia em aldeias. As cidades nesta época eram o centro do comércio local e serviam para defesa das populações em caso de ataques externos. As cidades ficavam então situadas em locais de difícil acesso, como colinas ou sítios abruptos, ilhas ou em imediações de rios de modo a dificultar o máximo possível a tarefa de elementos atacantes. A fisionomia das cidades medievais é muito irregular pois muitas vezes se teve de adaptar a um terreno com topografia acidentada. O traçado das ruas tinha de resolver o problema da localização, o que fazia com que as ruas deste período fossem irregulares, estreitas e tortuosas. As ruas da cidade partiam em geral do centro e dirigiam-se radialmente para as portas do recinto fortificado. O centro da cidade era sempre ocupado por um templo ou catedral pelo que a cidade tinha também uma grande importância espiritual.

Segundo C. Harris (2010), no período do Renascimento, os arquitetos começaram sistematicamente a estudar a forma do espaço urbano, como se a própria cidade fosse uma peça arquitetónica que pudesse receber uma ordem esteticamente agradável e funcional. Muitos dos grandes espaços públicos de Roma datam desta era. Partes das cidades antigas foram

reconstruídas com o objetivo de criar novas praças e largos, longas avenidas e ruas de arranjo simétrico. A busca pela simetria conduziu nesta época a malhas urbanas regulares simétricas. O desenvolvimento de armas de fogo e de peças de artilharia, tornou as antigas defesas medievais obsoletas, deste modo surgiram novos tipos de muralhas, projetadas em forma de estrela com grandes terraplenagens para desviar o fogo de artilharia. As novas cidades envoltas neste tipo de muralha tinham um desenvolvimento concêntrico anelar.

Segundo C. Harris (2010), entre 1600 e 1750, surge a cidade barroca, esta está ligada ao aparecimento dos grandes estados-nações europeus. Neste período as cidades aumentaram em dimensão e importância, o povo que na época medieval se tinha dispersado pelas zonas rurais voltou a concentrar-se nas grandes cidades ou em torno destas. Neste período a cidade passou a ser um elemento político e social de relevo. A arte barroca foi buscar muitas das suas ferramentas ao período do renascimento. Neste período a perspectiva e a escala foram os motores de traçado urbano. Os elementos comuns às cidades deste período são longas avenidas, ruas radiais, praças e largos monumentais e grandes espaços verdes. Todos estes elementos foram desenhados com linhas retas, perspectivas tridimensionais monumentais e uniformes.

A última modificação fundamental que as cidades sofreram, foi ocasionada por uma complexa série de acontecimentos a que se tem chamado de revolução industrial, embora na realidade não tenha sido só industrial, foi também uma revolução na agricultura, nos meios de transporte, comunicação e de ideias económicas e sociais. (Goitia, 1996)

Segundo Goitia (1996), o aparecimento da máquina a vapor permitiu que se realizasse uma tal concentração industrial que a produção em massa acabou por sair favorecida. Segundo este as fábricas que existiam antes da revolução industrial, tendiam a situar-se junto de rios de modo a aproveitar a força hidráulica gerada por estes. Este cenário inicial fazia com que as várias fábricas estivessem situadas em diferentes pontos muito distantes entre si. O aparecimento da máquina a vapor fez com que os vários centros de produção se pudessem concentrar num só ponto, este fenómeno originou o aparecimento das grandes cidades industriais. As várias fábricas precisavam de mão-de-obra, o que fez com que muita da população rural se deslocasse para a cidade, esta situação deu origem aos chamados bairros operários que se aglomeravam em torno do centro fabril, os trabalhadores viviam em casas pequenas e sem condições sanitárias, não havia planeamento, ou melhor o planeamento que havia era ditado pelas necessidades da indústria. Neste período as cidades eram barulhentas sujas e sobrelotadas, não havia espaços de lazer nem preocupação com os habitantes.

O século XIX, ao mesmo tempo que trouxe a revolução industrial preparou a revolução social. (Goitia, 1996)

Segundo Goitia (1996), no final do século XIX, a falta de condições das populações citadinas, fez com que se repensasse o modo de planear as cidades. Ebenezer Howard, autor do modelo de cidade jardim e Arturo Soria y Mata, autor do modelo de cidade linear, tentam dar resposta a estes problemas. O primeiro modelo tem como base principal a introdução na cidade de espaços verdes, procura ainda separar os vários espaços da cidade por zonas, passando a zona residencial a estar separada da zona industrial. O segundo modelo propunha-se a fazer com que todas as habitações gozassem de oportunidades de circunstancialidade iguais, para tal estas seriam dispostas ao longo de um eixo que permitiria a circulação entre a zona industrial e rural.

Segundo Cardoso (2010), na década de trinta do século passado, surge o movimento moderno na arquitetura e urbanismo, este defendia que a tarefa de planear as cidades era uma matéria de ordem técnica e que como tal deveria ser feita com base no critério científico, este pensamento foi formalizado no Congresso Internacional da Arquitetura Moderna, dando origem à Carta de Atenas, sendo esta muito influenciada pelas ideias de Le Corbusier e pelo seu modelo de cidade

radiosa. A Carta encarou a cidade como um organismo funcional, na qual as necessidades do homem deveriam ser resolvidas. Esta serviria supostamente como guia de boas práticas para o planeamento urbano, tinha por base, a separação de áreas, a área de lazer estaria separada da área de habitação e a área de habitação estaria separada da área de trabalho, previa ainda a introdução de vários espaços verdes de modo a aproximar o homem da natureza.

Segundo S. Fainstein (2007), o fator mais influente na forma física das cidades contemporâneas são as redes de transportes. A evolução dos meios de transporte promoveu uma rápida expansão do território urbano. Os transportes motorizados e elétricos, tornaram possível deslocar rapidamente pessoas e bens, do local de residência para o local de trabalho e dos locais de transformação ou produção para os locais de venda. Cada vez mais, as redes de transporte tornaram-se o foco das atividades de planeamento urbano. As cidades contemporâneas tem várias formas, estas são o resultado de anos de modificação e de diferentes tipos de planeamento.

Como disciplina científica o planeamento urbano é recente, mas isso não quer dizer que antes do seu reconhecimento as cidades não se organizassem, de fato o planeamento urbano veio é racionalizar esta organização procurando dentro do possível beneficiar todas as atividades que se realizam dentro de uma cidade de modo a melhorar a vida dos seus ocupantes.

Como conclusão pode-se referir que o planeamento urbano apresenta oito fases distintas de evolução. (Amado, 2015)

Segundo Amado (2015), a primeira fase de evolução do planeamento urbano ocorreu no século XIX, começando nesta época a haver um maior controlo do desenho da cidade e dos fatores de salubridade. O segundo estágio de evolução ocorreu ainda no final desse século, o desenho das novas cidades preocupava-se com ligação entre a cidade e o campo. A terceira fase de evolução do planeamento urbano, veio no início do século XX. Neste período preconizou-se o desenho de modelo de cidades ideais. Nos anos 70, veio a quarta fase de evolução onde se procurou conter a expansão urbana sobre o solo agrícola e florestal. A quinta fase de evolução, ocorreu nos anos 80, com a integração de medidas de política ambiental. A sexta fase de evolução ocorreu nos anos 90 com medidas de recuperação ambiental das zonas degradadas e a sétima fase, ocorreu ainda no final dos anos 90, contemplando o desenho de planos urbanos com a inclusão da componente ambiental. No início do século XXI, passou também a haver preocupação do planeamento com fatores sociais e económicos.

Como se viu o planeamento urbano vai-se alterando ao longo do tempo, esta mudança acompanha as necessidades da sociedade e dos povos.

Segundo Amado (2015), atualmente o processo de planeamento urbano é composto por quatro etapas essenciais. O processo deverá conter uma etapa de análise, seguida de uma etapa de síntese e de outra de avaliação, servindo as três etapas anteriores para fundamentar a última etapa, que será a de decisão. Neste processo as variáveis a estudar deverão ser definidas em função da intervenção a desenvolver.

A forma de uma cidade, define-se na relação estabelecida entre o espaço exterior e a massa edificada que existe num dado solo/paisagem. (Pereira, Luiz Valente, 1982)

Segundo C. Harris (2010), os planeadores urbanos devem ter em conta uma série de elementos complexos e em constante mudança aquando do planeamento de uma cidade. Segundo este os elementos físicos de uma cidade podem ser divididos em três categorias, redes, edifícios e espaços ao ar livre.

Segundo C. Harris (2010), todas as cidades modernas contêm uma enorme variedade de redes, cada rede tem um diferente propósito, algumas estão relacionadas com o transporte de fluxos de pessoas e bens; outras estão relacionadas com a distribuição de água, energia e informações. As

redes de transporte são as maiores e visíveis. Cabe ao planeamento urbano integrar da melhor maneira possível estas redes nas cidades de modo a potenciar a velocidade de movimento de massas dentro da cidade e evitar congestionamentos.

Segundo C. Harris (2010), os edifícios são os elementos mais visíveis da cidade, são estes que em última análise conferem a cada cidade um caráter único. Existem três tipos principais de edifícios, residenciais, comerciais e industriais. Cabe ao planeamento urbano, procurar uma boa integração entre estes tipos de edifícios, procurando sempre, um equilíbrio entre o bem-estar social e promovendo a vertente económica.

Segundo C. Harris (2010), os espaços ao ar livre, são muitas vezes encarados como sobras do espaço urbano, no entanto, se bem planeados, estes contribuem muito para a qualidade de vida urbana, as grandes praças e largos fornecem uma base para todo o tipo de atividades públicas. Os espaços verdes, como jardins ou parques, servem de alívio às duras condições urbanas. Cabe então ao planeamento urbano, integrar dentro da cidade este tipo de espaços, sendo que esta integração, deve ser feita de maneira a que estes fiquem acessíveis a toda a população.

2.6.2. Planeamento urbano em Portugal

A evolução do planeamento urbano em Portugal está muito ligada ao processo da revolução industrial do século XIX e às novas valências que essa revolução introduziu nas áreas urbanas, existentes à época. (Amado, 2002)

Segundo Amado (2002), a concentração de alguns setores de atividade industrial, associada ao consumo intensivo de recursos e rápido crescimento populacional em torno dos centros de produção, levou à criação de novas condições de acessibilidade e de centros de alojamento para os trabalhadores. No entanto, este rápido crescimento da população urbana não foi acompanhado pela criação de alojamentos e condições sanitárias condignas. Esta situação criou um novo problema ao planeamento, sendo que na altura a resposta dada passou pelo alargamento das vias de comunicação e pelo consentimento da criação de bairros operários clandestinos. Em 1930 ocorreu um processo de segregação espacial de origem social. Neste período começaram a ser projetados bairros diferenciados para o pessoal qualificado e bairros para a classe operária.

Segundo Amado (2002), em 1933, graças ao Engenheiro Duarte José Pacheco, foram lançadas as bases para a criação do processo de desenvolvimento planeado da capital do país, sendo neste período executadas várias ações de expropriação com vista à criação de espaços reservados, espaços estes que mais tarde deram origem por exemplo ao parque natural do Monsanto. Em 1940, foram realizados planos de urbanização da Costa do Sol. Apoiavam-se estes planos, essencialmente, em critérios de racionalidade física. Em 1950, foram implementadas medidas que de algum modo pudessem combater o atraso económico e social do nosso País, em relação ao resto da Europa. Nos anos 60, destacam-se algumas medidas relacionadas com a promoção do turismo nas zonas litorais do País e a criação de planos, que pretendiam controlar a proliferação dos bairros clandestinos e do caos urbanístico, até aí verificado.

Segundo Amado (2002), em 1972, foram iniciados estudos para revisão do Plano Diretor da Região de Lisboa, que acabaram por ficar suspensos devido à revolução de Abril em 1977, foi lançado o Plano de Desenvolvimento que devido à instabilidade da época acabou por não surtir os efeitos desejados. Na década de 90 o aparecimento dos Quadros Comunitários da CEE, fez com que a maioria dos municípios iniciasse a elaboração dos planos municipais de ordenamento do território (PMOT), de modo a poder concorrer aos fundos monetários para o desenvolvimento Europeus. Esta pressa em terminar os planos municipais, fez com que a maioria destes fosse

desajustada da realidade, não ajudando em nada ao desenvolvimento que se pretendia alcançar. Em 1999, foi criada uma coordenação legislativa em que se pretendeu definir o uso do solo, tanto no âmbito nacional como regional e municipal, passando o solo a ser classificado como rural ou urbano. Esta legislação estabeleceu ainda os objetivos dos Planos diretores Municipais (PDM), Planos de Urbanização (PU) e Planos de Pormenor (PP).

Segundo a DSOT (2015), o PDM, é abrangente a toda a área do concelho, o PU abrange qualquer área em perímetro urbano, podendo ainda abranger áreas do território municipal que possam ser destinadas a usos e funções urbanas, O PP, abrange áreas contínuas do território municipal.

Segundo Amado (2002), o PDM, deverá apresentar uma síntese da estratégica de desenvolvimento e ordenamento territorial para o município.

Segundo a DSOT (2015), o PU, define a organização do meio urbano, estabelecendo o traçado esquemático da rede viária e infraestruturas.

Segundo a DSOT (2015), o PP, define com rigor a ocupação possível de qualquer área específica, indicando os usos do solo e condições de edificação.

No fundo o PDM é um plano de macro escala municipal, o PU é um esboço da área urbana e o PP pormenoriza unidade a unidade o desenho urbano.

2.7. Planeamento urbano e eficiência energética

As áreas urbanas podem ser consideradas sistemas físicos, funcionais e também energéticos, nas quais os seus componentes apresentam interdependências que condicionam o seu metabolismo. (Marins e Romério, 2012)

Atualmente, em vez de desenhar um edifício de cada vez, os planeadores urbanos e arquitetos podem desenhar um novo bairro ou cidade por inteiro, ficando através de ferramentas de cálculo a conhecer quais os consumos energéticos de todos os edifícios planeados. Esta possibilidade permite chegar a formas urbanas mais eficientes. (Stauffer, 2013)

Nos últimos anos têm surgido várias metodologias relativas ao planeamento urbano, que procuram reduzir os consumos de energia de todos os elementos integrantes da cidade.

A morfologia urbana, frequentemente referida como estrutura ou malha urbana, é resultado da combinação de diversos elementos que formam as áreas ocupadas, livres, com vegetação ou pavimentação, com volumetrias, materiais e cores diversas. A morfologia urbana influi diretamente nos sistemas de transporte e circulação, ou seja, na mobilidade urbana e também nos projetos dos edifícios. (Marins e Romério, 2012)

Segundo Marins e Romério (2012), o espaço físico necessário para implantação de infraestruturas de circulação e transporte, fazem com que a mobilidade urbana esteja condicionada em grande parte pelas características de uso e ocupação do solo. Relativamente às edificações, a orientação e dimensionamento dos lotes e quarteirões, acaba por afetar a disponibilidade de luz e ventilação natural no interior dos edifícios.

Neste contexto, como medida de promoção da eficiência energética, Marins e Romério (2012) propõem uma metodologia de planeamento urbano assente designadamente, no estudo da morfologia e clima urbano, densidade populacional, mobilidade urbana e impacto no consumo de energia resultante da adequação da orientação e na volumetria dos edifícios, com relação ao vento e sol.

De facto segundo Sonza, linz e Ely (2010), um inadequado desenho da malha urbana, pode ser diretamente relacionado com o desperdício energético, já que dá origem a utilizações desnecessárias de ar condicionado e iluminação. Diferentes tipos de malha darão origem a diferentes níveis de insolação. Para estes autores, a malha rádio concêntrica é a que conduz a maiores exposições solares.

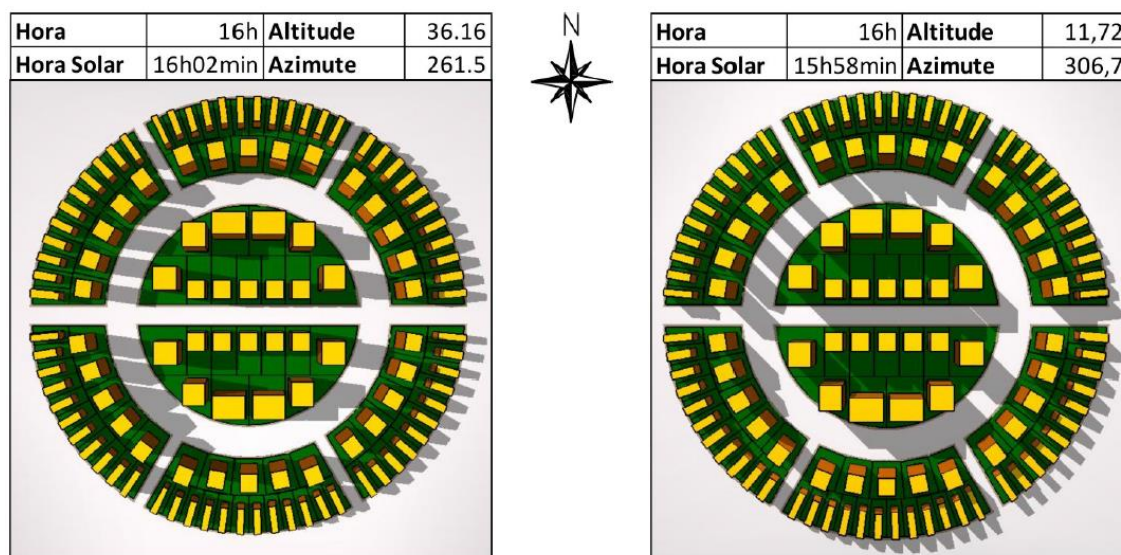


Figura 2.11 – Exposição solar, malha rádio concêntrica. (Sonza, Linz e Ely)

Segundo Carvalho (2006), a incorporação no planeamento urbano da componente bioclimática, é essencial, quer do ponto de vista da sustentabilidade a longo prazo, quer como medida de promoção da eficiência energética do espaço urbano e do próprio edificado.

Segundo Carvalho e Monteiro (2006), o processo de integração de considerações bioclimáticas no planeamento urbano, deverá passar por quatro etapas que se descrevem de seguida.

A primeira etapa passará por fazer um diagnóstico bioclimático do local. Para tal deverá ser colocado no território a estudar uma rede de monitorização climática, devendo ser capaz de registar variações de temperatura, de humidade relativa e de rumo dos ventos. Os dados recolhidos permitirão, por exemplo, saber quais as temperaturas médias e máximas em período de verão, as temperaturas mínimas em período de inverno, o rumo predominante dos ventos em todas as estações do ano, qual a velocidade máxima do vento e a humidade relativa média, tanto em período de verão, como em período de inverno.

A segunda etapa passa por fazer uma avaliação das condições naturais do local a estudar. Nesta fase deverão por exemplo ser analisadas as condições morfológicas do terreno, a sua topografia, a proximidade deste em relação a massas de água, a possível existência de vegetação e de fauna. Os dados obtidos nesta fase, devem analisar-se em conjunto com os resultados obtidos na primeira etapa, pois poderão ajudar a explicar o comportamento bioclimático do local.

A terceira etapa terá sempre por base as duas etapas anteriores. Nesta etapa, deverão ser feitas recomendações gerais, tanto para a definição de usos de solo, como para as operações de urbanização, sempre com o objetivo de potenciar ao máximo a eficiência energética e a manutenção das condições de conforto térmico, tanto no espaço exterior como no espaço interior. Estas recomendações podem passar pela definição de soluções de pavimentação, passando pela

inclusão e organização de novos espaços verdes, pela definição de densidade do desenho urbano, até à definição da melhor orientação e largura das ruas e loteamentos.

A quarta e última etapa do processo, passa por fazer um conjunto de recomendações de nível arquitetónico e construtivo que terão por objetivo servir de apoio ao processo de tomada de decisão aquando da construção ou reabilitação de edifícios. Com vista à promoção da eficiência energética do edificado no que à climatização diz respeito, serão feitas recomendações relativas à orientação dos edifícios, posição destes perante os ventos predominantes, ao afastamento entre edifícios, ao tipo de isolamentos térmicos a utilizar, à altura e tipologia do edificado, à massa térmica dos materiais, à cor das coberturas e dos paramentos exteriores e ao tipo de vegetação a utilizar zona a zona.

Segundo Carvalho e Monteiro (2006) a integração destas quatro etapas no processo de planeamento acabará por promover a eficiência energética de toda a massa edificada.

Diferentes autores propõem diferentes abordagens ao processo de planeamento. No entanto todos procuram chegar a formas e soluções de mitigar os consumos de energia no espaço urbano.

3. GEOMETRIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1. Enquadramento

Do ponto de vista teórico a existência de uma forma de lote ou quarteirão que promova a eficiência energética de todo o edificado seria algo que facilitaria bastante a tomada de decisões de planeamento urbano. O conhecimento dessa forma ideal acabaria por moldar todo o desenho urbano. Um conjunto de lotes forma um quarteirão que poderá ser maior ou menor dependendo do número de lotes agrupados. No entanto, aquele tenderá a ter uma geometria similar à da unidade que o constitui, que no caso seria o suposto lote de tamanho ideal. O tamanho e a disposição dos quarteirões iria por sua vez influenciar o traçado de toda a rede urbana. Ainda que não de forma direta o tamanho do dito lote acabaria por influenciar todo o trabalho de planeamento urbano. Chegar a uma geometria de lote que seja válida para todas as cidades é impossível. Cada cidade deve encarar-se como um organismo único, com necessidades específicas. Deste modo uma geometria de lote ideal na cidade A pode na cidade B não fazer sentido, a localização de A não será a mesma de B, a densidade populacional de A poderá não ser a mesma de B, o tipo de construção em A poderá ser muito diferente do tipo de construção em B, o clima de A poderá ser diferente do clima de B, a envolvente de A poderá ser diferente da de B, o tipo de transporte utilizado em A poderá ser diferente do utilizado em B, a sociedade em A poderá ser muito diferente da sociedade em B, entre muitos outros fatores, porquanto a dimensão ideal de um quarteirão é difícil de definir, ou melhor, poderá ser definida mas caso a caso, não existindo portanto uma dimensão ideal geral, que possa ser aplicada e replicada sem que se pesem todos os fatores anteriormente descritos.

Para a definição da geometria de um lote que procure promover a eficiência energética de uma habitação sem prejuízo da manutenção das condições de conforto térmico interior, não poderão ser negligenciados os condicionantes locais climáticos e físicos do espaço urbano.

O clima varia drasticamente consoante a região do mundo onde se está a planear. Existem diferentes tipos de climas, que vão desde os climas muito frios aos muito quentes, climas amenos, e climas que ao longo do ano passam do muito frio ao muito quente. Dentro das condicionantes climáticas é ainda necessário ter em conta a exposição do espaço urbano ao vento, precipitação e proximidade ao mar.

O tipo de soluções construtivas e arquitetónicas de um edifício terá uma importância extrema no comportamento térmico que este apresenta. Soluções construtivas e arquitetónicas que sejam bem adaptadas ao clima e envolvente local traduzem-se em última análise numa melhor sensação de conforto térmico sentida pelos seus ocupantes. Esta sensação varia consoante a época do ano, deste modo, quanto mais adaptado for o edifício ao ambiente onde está inserido, menores serão os períodos do ano em que será necessário recorrer a sistemas de climatização com vista à manutenção das condições de conforto, promovendo-se assim a eficiência energética.

A existência de barreiras à passagem do sol, chuva e vento, acabam por alterar o comportamento térmico de um edifício. Deste modo a envolvente de um edifício assume um papel preponderante aquando do cálculo das necessidades energéticas no que à climatização diz respeito. A orientação das ruas, a altura dos edifícios envolventes e a presença de árvores, entre outros fatores, são elementos que têm de ser tidos em conta aquando da caracterização da envolvente, podendo a disposição destes conduzir a menores ou maiores consumos de energia para climatização,

3.2. Proposta de estudo

Tendo em conta o que foi descrito anteriormente, torna-se então interessante verificar se a forma geométrica de um elemento tem ou não influência no seu comportamento térmico.

Para além de estudar o comportamento térmico de várias formas geométricas seria útil também saber que impacto terá a alteração da sua orientação no desempenho energético do dito elemento.

Deste modo, no presente capítulo far-se-á a análise do desempenho energético de um modelo elementar. O modelo elementar terá algumas das características de um edifício de habitação. Contudo o objetivo não passa por determinar os consumos efetivos de um edifício específico, mas sim em determinar uma tendência de comportamento energético. Esta tendência de comportamento será útil na determinação de uma melhor geometria para os lotes dentro de uma cidade.

3.3. Área e geometrias

Para poder analisar de que maneira a geometria de um elemento afeta o seu comportamento térmico, será em primeiro lugar necessário definir qual a área em planta que este ocupa no espaço. Só depois desta definição inicial se torna válido estudar que efeitos efetivos têm a geometria de um elemento no seu desempenho energético. Assim todas as geometrias analisadas terão por base a mesma área de pavimento, garantindo-se que os resultados não serão influenciados por variações de área, mas sim e como se pretende, sejam apenas influenciados por variações de geometria. Deste modo, a área adotada para o modelo elementar foi de $900m^2$, sendo esta a base inicial para todas as variações de geometria. No total foram analisadas 33 formas geométricas diferentes. As formas geométricas analisadas derivam de uma forma inicial quadrada, a partir desta foram feitas variações tanto de comprimento como de largura, chegando-se deste modo a novas formas geométricas retangulares que, em comum com a forma inicial quadrada, apenas têm a área que ocupam no espaço.

Tabela 3.1 – Formas geométricas analisadas.

Descrição Geométrica									
Nome	A	B	C	D	E	F	G	H	I
L(m) x C(m) = 900 m ²	30 x 30	31,25 x 28,8	32 x 28,125	36 x 25	37,5 x 24	40 x 22,5	45 x 20	46,875 x 19,2	50 x 18
Nome	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
L(m) x C(m) = 900 m ²	50 x 18	56,25 x 16	60 x 15	62,5 x 14,4	72 x 12,5	75 x 12	90 x 10	93,75 x 9,6	100 x 9
Nome	A	B ^T	C ^T	D ^T	E ^T	F ^T	G ^T	H ^T	I ^T
L(m) x C(m) = 900 m ²	30 x 30	28,8 x 31,25	28,125 x 32	25 x 36	24 x 37,5	22,5 x 40	20 x 45	19,2 x 46,875	18 x 50
Nome	I ^T	J ^T	K ^T	L ^T	M ^T	N ^T	O ^T	P ^T	Q ^T
L(m) x C(m) = 900 m ²	18 x 50	16 x 56,25	15 x 60	14,4 x 62,5	12,5 x 72	12 x 75	10 x 90	9,6 x 93,75	9 x 100

Na tabela 3.1 estão expostas todas as geometrias analisadas. Para facilitar a análise e exposição de resultados cada geometria será representada por uma letra do alfabeto. Assim quando o modelo elementar for assumir uma geometria quadrada de 30m de largura, por 30m de comprimento dir-se-á apenas que a sua forma geométrica é “A”, por outro lado quando este assumir uma geometria

retangular de 100m de largura, por 9m de comprimento, dir-se-á apenas que a sua forma geométrica é “Q”, os casos em que o valor do comprimento passe a ser o valor da largura e o valor da largura passe a ser o valor do comprimento serão denominados como transpostos, por exemplo “G” representa um retângulo com 45m de largura, por 20m de comprimento e “ G^T ” representa um retângulo com 20m de largura, por 45m de comprimento, no fundo são os dois o mesmo retângulo a diferença entre ambos está relacionada apenas com a sua disposição no espaço. Esta situação está ilustrada na figura 3.1. Resumindo de “Q” para “ Q^T ”, o comprimento vai diminuído e a largura aumentando, mantendo-se a área em planta sempre a mesma.

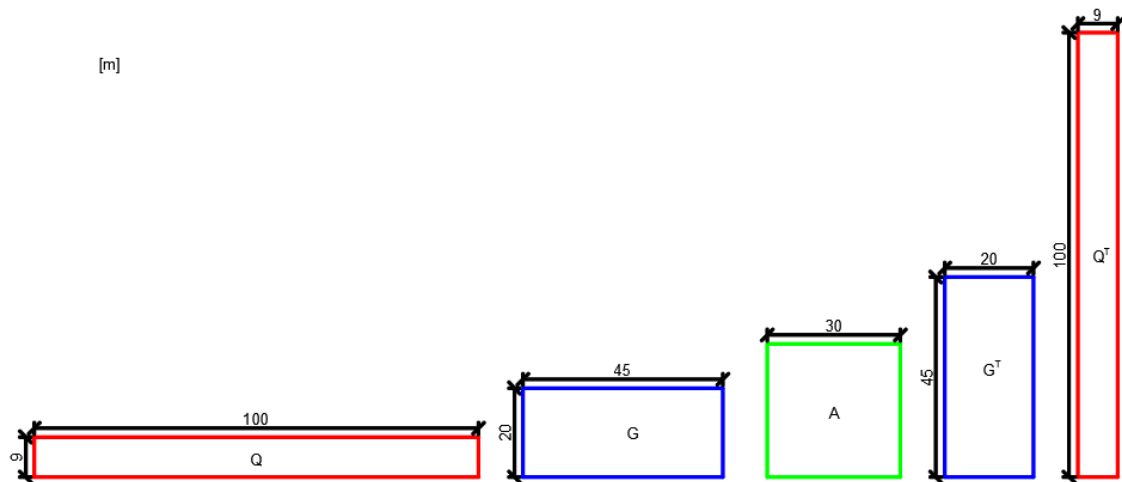


Figura 3.1 – Esquema representativo de análise geométrica.

No presente estudo não foram considerados casos em que o valor do comprimento ou da largura fosse superior a 100m, ou inferior a 9m. Estes dariam origem a formas geométricas muito estreitas e longas, que acabariam por não ter aplicabilidade no mundo real. Foram ainda descartadas situações em que o valor do comprimento ou da largura assumisse valores com mais de três casas decimais, pois estes não teriam utilização do ponto de vista prático.

Considerou-se ainda não existirem elementos exteriores ao modelo que atuassem como barreiras à passagem do sol e vento, garantindo-se assim que apenas a geometria do próprio modelo venha a ter influência no seu desempenho energético.

3.4. Volume

Após determinar qual a área em planta e que modelo elementar ocupa no espaço, será necessário definir a sua altura de modo a dar corpo ao plano horizontal previamente definido, passando-se portanto de um corpo bidimensional para um corpo tridimensional. Ora esta altura depende do tipo de edifício, do seu uso e finalidade, da densidade populacional, de fatores sociais e culturais, da legislação existente e aplicável no país ou região onde será implantada a construção, entre muitos outros fatores. Deste modo não existe uma altura que represente todos os edifícios. Como tal no presente estudo, de modo a uniformizar as simulações feitas, adotou-se uma altura de 3m, que conjugada com área em planta previamente definida de $900m^2$ deu origem a um volume de $2700m^3$. Esta altura de 3m representa no fundo um edifício de um piso.

3.5. Orientações

A orientação dada a um qualquer edifício condiciona bastante a sua eficiência energética, ou seja, o seu comportamento térmico será condicionado tanto pela disposição espacial das fachadas como pela área de fachada exposta a uma determinada direção.

As fachadas de um edifício não recebem todas a mesma radiação solar. De facto uma fachada virada a Este recebe os primeiros raios de luz do dia, após o nascer do sol e fruto da inclinação do eixo de rotação da terra a radiação solar passará a incidir sobre as fachadas viradas a Sul. Após o meio-dia solar a altura do sol começa a diminuir acabando este por se pôr a Oeste, fazendo com que sejam as fachadas viradas a Oeste as últimas a ver a luz do dia. Deste modo tem-se então que um edifício mais exposto à radiação solar terá à partida uma temperatura interior maior que um edifício que receba menos radiação solar. Do ponto de vista da eficiência energética importa então orientar a edificação para que esta se adapte tanto quanto possível ao clima local. Sendo um clima quente, deverá ser escolhida uma orientação que diminua a exposição solar; se o clima for frio a opção escolhida passa por uma orientação que maximize a exposição solar. No entanto a orientação de um edifício não pode ser determinada apenas tendo em conta exposição solar, de facto a exposição deste ao vento e à chuva condicionam também o seu desempenho energético. A incidência de vento sobre uma superfície provoca o arrefecimento da mesma, logo uma fachada exposta ao vento irá ter uma temperatura mais baixa que uma fachada que esteja mais resguardada do vento. Esta diminuição de temperatura dos paramentos exteriores acaba por conduzir a temperaturas interiores mais baixas. Este fenómeno é agravado pela presença de precipitação, uma fachada molhada acaba por ter temperaturas menores que uma fachada seca. Deste modo as temperaturas interiores verificadas em edifícios expostos ao vento e chuva serão menores que as temperaturas interiores verificadas em edifícios apenas expostos ao vento. Mais uma vez a orientação conduz a consumos energéticos para climatização menores. Em climas muito quentes o vento pode ajudar a baixar as temperaturas interiores. Deste modo uma orientação que conduza a uma maior exposição das fachadas ao vento acaba por promover a eficiência energética. Por outro lado em climas frios, orientar os edifícios de modo a diminuir a exposição ao vento acaba por conduzir a melhores desempenhos energéticos, as perdas por convecção, neste caso, serão menores, conseguindo-se limitar o abaixamento de temperatura interior causado pela ação do vento.

O planeamento urbano pode então ser encarado como uma medida de promoção da eficiência energética. O desenho da cidade condiciona tanto a geometria como a orientação dos edifícios que nela se inserem, devendo assim, adotar-se uma orientação de malha que conduza em última análise a menores consumos de energia dos edifícios individuais.

No presente estudo foi analisado o desempenho energético das várias geometrias do modelo elementar quando dispostas sobre diferentes orientações. Fruto das variações de geometria do modelo elementar as orientações analisadas foram divididas em dois grupos principais, o primeiro grupo engloba os casos em que as fachadas do modelo elementar são perpendiculares ao eixo Norte/Sul e ao eixo Este/Oeste; o segundo grupo engloba os casos em que as fachadas do modelo elementar são perpendiculares ao eixo Noroeste/Sudeste e ao eixo Nordeste/Sudoeste. Esta divisão encontra-se ilustrada na figura 3.2.

Para o primeiro grupo de orientações que será designado por N/S E/W, temos que da forma geométrica “ Q^T ” até à forma “ B^T ” as duas maiores fachadas do modelo elementar estarão viradas a Este e a Oeste; da forma “B” até à forma “Q” sucede o contrário, as duas maiores fachadas estarão viradas a Norte e a Sul. Para a forma “A” teremos a mesma área de fachada para todas as direções.

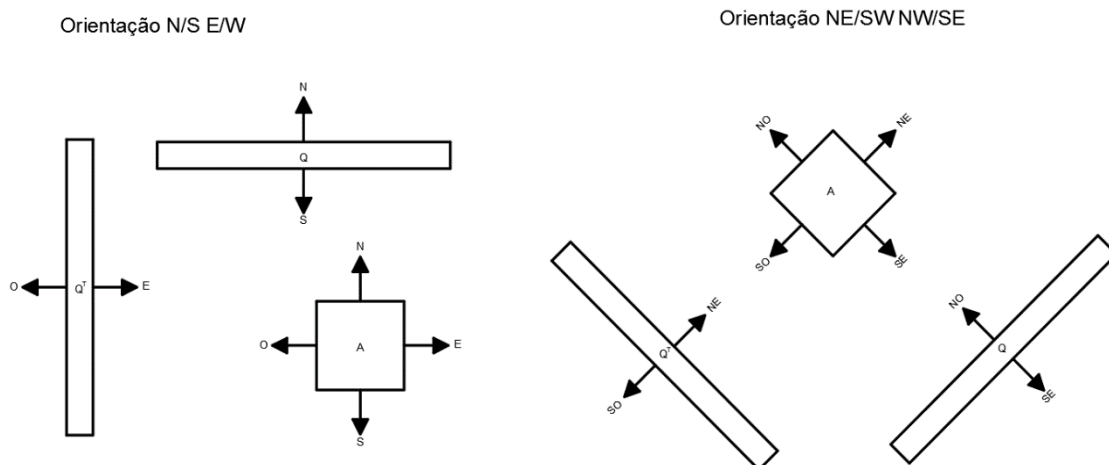


Figura 3.2 – Grupo de orientações analisado.

Para o segundo grupo de orientações que será designado por NE/SW NW/SE, temos que da forma geométrica “Q” até à forma “B” as duas maiores fachadas do modelo elementar estarão viradas a Noroeste e a Sudeste, da forma “B^T” até à forma “Q^T” verifica-se mais uma vez o contrário, as duas maiores fachadas estarão viradas a Nordeste e a Sudoeste.

Tendo por base estes dois grupos de orientações procedeu-se então ao cálculo das necessidades energéticas do modelo elementar para todas as formas geométricas.

3.6. Localização e clima

O cálculo das necessidades energéticas de um edifício é sempre feito tendo em conta o clima onde se insere. Cada zona tem um clima que a caracteriza; assim sendo o desempenho energético de um edifício colocado em duas zonas diferentes não será o mesmo. De modo a promover a eficiência energética, cada edifício deverá então adaptar-se, tanto quanto possível, ao clima da zona onde se insere, passando esta adaptação pela escolha de soluções construtivas e arquitetónicas que promovam o conforto térmico dos seus ocupantes, diminuindo tanto quanto possível a necessidade de recorrer a meios externos para a sua manutenção.

No presente estudo as necessidades energéticas do modelo elementar foram determinadas tendo por base o clima da região de Lisboa. Partiu-se do princípio que o modelo elementar se encontra inserido em zona urbana junto ao oceano. Os dados climáticos utilizados no presente estudo foram obtidos através do site do software informático EnergyPlus (2017); a compilação destes dados foi feita pelo INETI.

A temperatura do espaço interior de um edifício é influenciada pelas variações de temperatura do espaço exterior; a diferença entre estas duas temperaturas dita o sentido das trocas de calor. Nos casos em que a temperatura exterior for superior à temperatura interior, a temperatura interior tende a aumentar. Nos casos em que a temperatura exterior for inferior à temperatura interior, a temperatura interior tende a diminuir. Torna-se então importante conhecer a que temperatura todos os elementos em contacto com um edifício se encontram.

Na figura 3.3 estão dispostas as variações de temperatura do ar verificadas em Lisboa. Estas foram obtidas através de simulação, tendo por base o ficheiro climático correspondente à região. Os valores apresentados são resultado de valores médios horários; a média mensal foi determinada a partir de 24 variações da temperatura exterior ao longo de um dia, para todos os dias de cada mês.

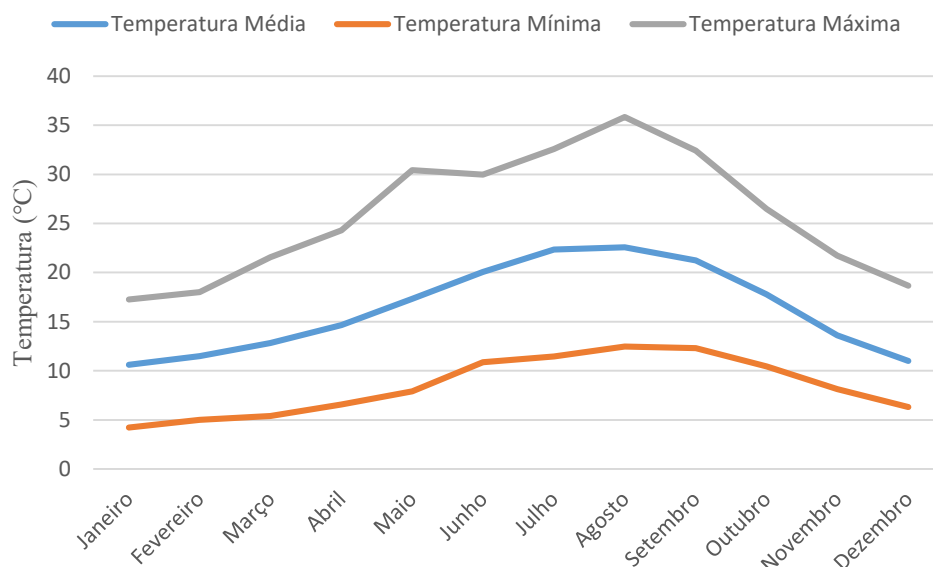


Figura 3.3 - Temperaturas médias exteriores.

Na figura 3.3 é visível que as temperaturas médias exteriores vão aumentando de janeiro até agosto, a partir do meio de agosto e até ao final do ano acontece o inverso, as temperaturas começam a diminuir. A figura 3.3 pode ainda ser dividida em três zonas distintas. Deste modo ter-se-á uma zona central que vai desde o meio de abril até ao meio de outubro, período em que a temperatura média é superior a 15°C e duas zonas laterais em que a temperatura média é inferior a 15°C. Esta informação demonstra, numa primeira análise, que teremos seis meses de época quente e seis meses de época fria, o que para um edifício quer dizer que, existirão à partida seis meses em que teremos temperaturas interiores mais elevadas e seis meses em que teremos temperaturas interiores mais baixas, correspondendo respetivamente a uma época em que será necessário gastar energia para arrefecer o seu interior e uma época em que será necessário gastar energia para o aquecer, mantendo sempre a sensação de conforto térmico no seu interior.

Na tabela 3.2 estão dispostos os valores de temperaturas médias do solo em todos os meses do ano. Estes valores são calculados diretamente por uma ferramenta existente no software EnergyPlus e gerados após a introdução do ficheiro climático da zona a estudar. As trocas de calor entre o espaço interior de um edifício e a sua fundação processam-se apenas por condução, o sentido destas trocas é ditado pela diferença entre a temperatura que se faz sentir no seu interior e pela temperatura do solo.

Tabela 3.2 – Temperaturas do solo.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura do Solo °C	17,9	17,63	17,6	19,14	19,44	19,48	21,08	21,28	21,32	21,35	19,8	19,51

Na figura 3.4 estão dispostos os dados relativos às variações de temperaturas médias do ar e da superfície do solo para a região de Lisboa. Nesta assinala-se o facto de a temperatura do solo comparativamente à temperatura do ar apresentar uma amplitude térmica reduzida. Deste modo temos que ao longo de um ano as variações de temperatura do solo são bastante reduzidas quando comparadas com as variações de temperatura do ar.

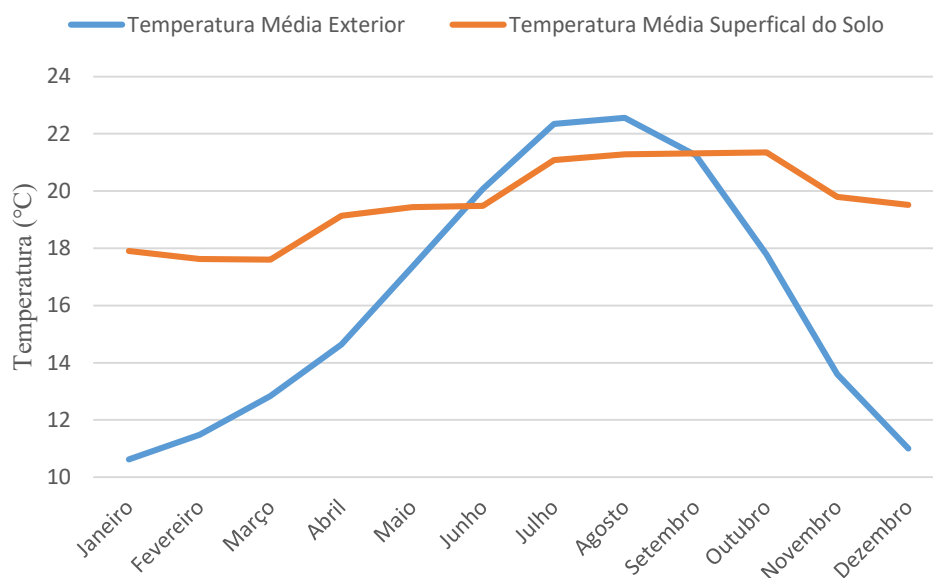


Figura 3.4 - Variação de temperaturas.

Segundo o ficheiro climático tem-se que, em Lisboa o mês mais quente do ano será agosto, com uma temperatura média de 22,56°C e que o mês mais frio do ano será janeiro, com uma temperatura média de 10,63°C, verificando-se então neste caso uma diferença máxima entre as temperaturas médias de 11,93°C.

A temperatura máxima superficial do solo verifica-se no mês de outubro, assumindo o valor de 21,35°C e a temperatura mínima do solo verifica-se no mês de janeiro, assumindo o valor de 17,6°C. Neste caso temos uma amplitude térmica de 3,75°C.

Na figura 3.4 é visível que de janeiro a maio e de outubro a dezembro, a temperatura do solo é superior à temperatura do ar, enquanto de junho a setembro se verifica o contrário. Considerando as duas épocas de climatização anteriormente referidas de aquecimento e de arrefecimento do espaço interior, percebe-se que a temperatura do solo pode conduzir a melhores desempenhos energéticos no que à climatização diz respeito, pois nas épocas frias o solo está mais quente que o ar exterior e nas épocas quentes o solo está mais frio, ajudando portanto a refrescar o interior dos edifícios na época de arrefecimento e a aquecê-lo na época de aquecimento.

3.7. Características do espaço interior

A organização do espaço interior de um edifício depende essencialmente da função que este visa desempenhar. Diferentes tipos de edifícios terão de dar resposta a diferentes tipos de necessidades. A resposta a estas necessidades acaba por fazer com que os edifícios na sua generalidade sejam muito diferentes entre si.

Do ponto de vista da climatização do espaço interior de um edifício existem um conjunto de características relacionadas tanto com a ocupação do espaço, como com o modo de circulação do ar dentro deste, que acabam por ter influência direta no seu desempenho energético. Dentro das características relacionadas com a ocupação do espaço deve ter-se em conta todos os elementos que geram calor, sejam estes de ordem biológica, caso de seres humanos, animais e plantas ou de ordem eletromecânica, caso dos eletrodomésticos e da própria iluminação. Todos estes elementos contribuem para o aumento da temperatura interior dos edifícios. A circulação de ar dentro de um edifício é fundamental. É através da ventilação que se garante que o ar do espaço interior vai sendo progressivamente renovado por ar trazido do exterior. Sem ventilação o ar do espaço interior estagnaria; tal não é admissível. Fruto do próprio uso do edifício o oxigénio existente no ar vai sendo consumido pelos seus ocupantes; estes libertam dióxido de carbono acabando por saturar o ar. Situações de má ou ineficiente ventilação do espaço acabam por conduzir a uma sensação de desconforto dos seus ocupantes. A entrada de ar vindo do exterior do edifício acaba no entanto por alterar a temperatura no seu interior. De facto podem ocorrer duas situações distintas, se a temperatura exterior for superior à temperatura interior, a entrada de uma massa de ar quente no edifício conduz a um aumento da sua temperatura interior; por outro lado se a temperatura no exterior for inferior à temperatura no interior, a entrada de uma massa de ar fria no edifício acaba por conduzir a uma diminuição das temperaturas verificadas no seu interior. Estas duas situações acabam por ter uma influência direta dos gastos de energia para climatização, visto que tanto podem aumentar como diminuir as temperaturas interiores.

De modo a aproximar tanto quanto possível o modelo elementar de uma situação real, optou-se por conferir a este algumas das características de ocupação de espaço interior verificadas em edifícios reais. Deste modo as necessidades energéticas do modelo elementar, serão influenciadas tanto pela ventilação do espaço interior, como pela geração interna de calor. Estas características serão mantidas em todas as simulações de modo a que apenas a geometria do modelo afete os valores de necessidades energéticas apresentados.

Considerou-se que a entrada de ar do espaço exterior do modelo elementar para o espaço interior ocorreria por ventilação natural, com uma taxa de renovação de ar de $0,6h^{-1}$.

No presente estudo considerou-se ainda que os ganhos internos de temperatura do modelo elementar seriam afetados pela libertação de calor proveniente de três fontes distintas.

A primeira fonte de geração interna de calor considerada está associada à presença de pessoas no espaço interior do modelo elementar. Deste modo considerou-se que o calor libertado por cada pessoa é equivalente a 100W. Tendo em conta a densidade populacional da região de Lisboa e a área do modelo elementar, considerou-se que no máximo existiriam quatro pessoas em simultâneo no seu espaço interior.

A segunda fonte está associada ao calor gerado pelos equipamentos elétricos. Estes quando em funcionamento acabam por libertar calor para o espaço interior causando um aumento de temperaturas. Deste modo considerou-se que o calor libertado pelos eletrodomésticos seria equivalente a $15W/m^2$.

A terceira fonte de libertação de calor considerada está associada à iluminação do espaço interior. As lâmpadas quando acesas para além de iluminar o espaço acabam também por promover o aquecimento deste. Considerou-se então que o calor libertado pelos dispositivos de iluminação seria equivalente a 10W/m^2 .

No entanto como é sabido nem sempre estas fontes de geração interna de calor estão ativas. De facto durante o dia as luzes de um edifício tendem a estar desligadas e mesmo o número de ocupantes varia ao longo do dia. Tendo em conta estas variações relacionados com o uso do espaço interior, o software EnergyPlus permite criar horários de funcionamento dos vários dispositivos interiores do edifício. Apresentam-se em seguida os horários considerados no caso das simulações feitas para o modelo elementar.

Para a ocupação do espaço interior definiu-se que, das cinco horas da tarde até as sete horas da manhã o modelo elementar estaria com a ocupação máxima, das sete até às oito horas da manhã o modelo elementar estaria desocupado, das oito horas da manhã até às duas horas da tarde apenas existiria um ocupante e das duas até às cinco horas da tarde existiram dois ocupantes.

Tabela 3.3 – Horário de ocupação, adaptado de Aelenei (2015).

Horas	00:00	07:00	08:00	14:00	17:00	00:00
Nº Pessoas	4	0	1	2	4	

Quanto aos equipamentos elétricos, ficou definido que não existiriam variações na sua utilização ao longo do ano. Deste modo do primeiro dia do ano ao último dia do ano considerou-se uma utilização de 100%.

Tabela 3.4 – Horário de funcionamento de equipamentos elétricos, adaptado de Aelenei (2015).

Hora/Mês	Janeiro a Dezembro
00:00:00	100%
24:00:00	

Para a Iluminação Interior foram definidos dois períodos distintos, um período de verão e um período de inverno. No período de verão, considerou-se que a partir das dezoito e até as vinte e quatro horas 50% das luzes estariam ligadas; para o mesmo horário mas em período de inverno 70% das luzes estariam em funcionamento. Nas restantes horas do dia para ambos os períodos considerou-se que apenas 5% das luzes estariam ligadas.

Tabela 3.5 – Horário de iluminação, adaptado de Aelenei (2015)

Horas/Meses	Janeiro a Abril	Mai a Setembro	Outubro a Dezembro
00:00	5%	5%	5%
18:00			
00:00	70%	50%	70%

Finalmente considerou-se que a climatização do espaço interior seria feita com recurso a ar condicionado. Os consumos de energia para climatização foram determinados tendo por base a unidade de HVAC existente no software EnergyPlus. Tendo em conta a manutenção das condições de conforto térmico no espaço interior, ficou definido que a unidade de climatização entraria em funcionamento sempre que a temperatura do ar do espaço interior fosse superior a 25°C ou inferior a 18°C.

3.8. Soluções construtivas

As necessidades energéticas do modelo elementar foram determinadas tendo por base três conjuntos diferentes de soluções construtivas. O primeiro conjunto de soluções construtivas será o mais fraco do ponto de vista da resistência térmica, o segundo conjunto de soluções terá isolamento térmico apenas nas paredes exteriores e o terceiro conjunto terá isolamento térmico tanto nas paredes exteriores como na cobertura. A solução construtiva adotada para o pavimento será a mesma para todos os conjuntos de soluções.

Nenhum dos conjuntos de soluções construtivas analisados prevê a existência quer de pilares, quer de vãos envidraçados nas fachadas exteriores. Esta opção leva obviamente a que os resultados de consumo de energia para climatização sejam mais baixos que os de um edifício real, visto que grandes partes das pontes térmicas foram eliminadas. Esta opção teve por objetivo homogeneizar tanto quanto possível todas as fachadas do modelo elementar. Usando vãos envidraçados de tamanho real e mantendo o mesmo espaçamento entre si, acabariam por existir formas geométricas em que não seria possível manter a mesma área de envidraçados por fachada. Esta situação levaria a que os consumos energéticos do modelo elementar passassem a ser influenciados tanto pela área de envidraçados por fachada, como pela posição destes na mesma, esta situação acabaria por retirar consistência aos resultados das variações de geometria. O mesmo tipo de situação ocorre relativamente aos elementos estruturais do modelo elementar, mantendo fixa a distância entre pilares, acabariam por existir formas geométricas em que a percentagem de área de pilares por fachada não seria igual em todas as fachadas, neste caso mais uma vez os resultados dos consumos energéticos de cada geometria acabariam por ser inconsistentes entre si. Embora o comportamento do modelo elementar se afaste do comportamento de um edifício real, garante-se deste modo que os consumos energéticos para climatização, apenas sejam afetados por variações de geometria.

Deste modo os resultados que se apresentam, não podendo ser encarados como consumos efetivos de um edifício real, são úteis na determinação de uma tendência de comportamento dos edifícios no geral.

3.8.1. Solução base (SB)

Na primeira solução analisada SB, as paredes exteriores terão 33 cm de espessura, o seu coeficiente de transmissão térmica é de $U=1,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo composta por revestimento exterior de reboco tradicional de 2 cm, pano exterior de tijolo cerâmico furado de 15 cm, caixa de ar de 3 cm, pano interior de 11 cm de tijolo cerâmico furado e revestimento interior de 2 cm de reboco tradicional.

Tabela 3.6 – Paredes exteriores, SB.

Parede exterior	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$
Revestimento exterior	Reboco Tradicional	0,02	1,3	0,02
Pano exterior	Alvenaria Tijolo Cerâmico	0,15	0,39	0,38
Caixa de ar	Ar	0,03	-	0,11
Pano interior	Alvenaria Tijolo Cerâmico	0,11	0,41	0,27
Revestimento Interior	Reboco Tradicional	0,02	1,3	0,02
Resistência SE				0,04
Resistência SI				0,13
Total		0,33		0,96

A cobertura da SB tem 22 cm de espessura, o seu coeficiente de transmissão térmica é de $U=3,91 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo composta por revestimento exterior de tela de impermeabilização, a cobertura é uma laje de betão armado de 20 cm e o revestimento interior é de reboco tradicional com uma espessura de 2 cm.

Tabela 3.7 – Cobertura, SB.

Cobertura	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$
Revestimento exterior	Tela de Impermeabilização	-	-	
Cobertura	Laje Betão Armado	0,2	2	0,10
Revestimento Interior	Reboco Tradicional	0,02	1,3	0,02
Resistência SE				0,04
Resistência SI				0,10
Total		0,22		0,26

O pavimento térreo da SB em 22 cm de espessura, a sua resistência térmica é $R=0,11 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$, é composto por revestimento interior de mosaicos cerâmicos com 1 cm de espessura, camada intermédia de argamassa de regularização ou assentamento com 1 cm de espessura e laje de betão armado com 20 cm de espessura.

Tabela 3.8 – Pavimento térreo, SB.

Pavimento Térreo	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica
Revestimento Interior	Mosaico Cerâmico	0,01	2,3	0
Camada Intermédia	Argamassa de Regularização	0,01	1,3	0,01
Laje	Betão Armado	0,2	2	0,1
Total		0,22		0,11

3.8.2. Melhoria 1 (M1)

A segunda solução analisada M1, as paredes exteriores terão 33 cm de espessura, o seu coeficiente de transmissão térmica é de $U=0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo composta por revestimento exterior de reboco tradicional de 1 cm, pano exterior de tijolo cerâmico furado de 15 cm, caixa de ar de 3 cm, isolamento de XPS com 2 cm de espessura, pano interior de 11 cm de tijolo cerâmico furado e revestimento interior de 1 cm de reboco tradicional.

Tabela 3.9 – Paredes exteriores, M1.

Parede exterior	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$
Revestimento exterior	Reboco Tradicional	0,01	1,3	0,01
Pano exterior	Alvenaria Tijolo Cerâmico	0,15	0,39	0,38
Caixa de ar	Ar	0,03	-	0,07
Isolamento	Xps	0,02	0,037	0,54
Pano interior	Alvenaria Tijolo Cerâmico	0,11	0,41	0,27
Revestimento Interior	Reboco Tradicional	0,01	1,3	0,01
Resistência SE				0,04
Resistência SI				0,13
Total		0,33		1,45

A cobertura da solução M1 tem 22 cm de espessura, o seu coeficiente de transmissão térmica é de $U=3,91 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo composta por revestimento exterior de tela de impermeabilização, a cobertura é uma laje de betão armado de 20 cm e o revestimento interior é de reboco tradicional com uma espessura de 2 cm.

Tabela 3.10 – Cobertura, M1.

Cobertura	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$
Revestimento exterior	Tela de Impermeabilização	-	-	
Cobertura	Laje Betão Armado	0,2	2	0,10
Revestimento Interior	Reboco Tradicional	0,02	1,3	0,02
Resistência SE				0,04
Resistência SI				0,10
Total		0,22		0,26

O pavimento térreo de M1 tem 22 cm de espessura, a sua resistência térmica é $R=0,11 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$, é composto por revestimento interior de mosaicos cerâmicos com 1 cm de espessura, camada intermédia de argamassa de regularização ou assentamento com 1 cm de espessura e laje de betão armado com 20 cm de espessura.

Tabela 3.11 – Pavimento térreo, M1.

Pavimento Térreo	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica
Revestimento Interior	Mosaico Cerâmico	0,01	2,3	0
Camada Intermédia	Argamassa de Regularização	0,01	1,3	0,01
Laje	Betão Armado	0,2	2	0,1
Total		0,22		0,11

3.8.3. Melhoria 2 (M2)

A terceira solução analisada M2, as paredes exteriores terão 33 cm de espessura, o seu coeficiente de transmissão térmica é de $U=0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo composta por revestimento exterior de reboco tradicional de 1 cm, pano exterior de tijolo cerâmico furado de 15 cm, caixa de ar de 3 cm, isolamento de XPS com 2 cm de espessura, pano interior de 11 cm de tijolo cerâmico furado e revestimento interior de 1 cm de reboco tradicional.

Tabela 3.12 – Paredes exteriores, M2.

Parede exterior	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$
Revestimento exterior	Reboco Tradicional	0,01	1,3	0,01
Pano exterior	Alvenaria Tijolo Cerâmico	0,15	0,39	0,38
Caixa de ar	Ar	0,03	-	0,07
Isolamento	Xps	0,02	0,037	0,54
Pano interior	Alvenaria Tijolo Cerâmico	0,11	0,41	0,27
Revestimento Interior	Reboco Tradicional	0,01	1,3	0,01
Resistência SE				0,04
Resistência SI				0,13
Total		0,33		1,45

A cobertura da solução M2 tem 26 cm de espessura, o seu coeficiente de transmissão térmica é de $U=1,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo composta por revestimento exterior de tela de impermeabilização, isolamento de 2cm de EPS, camada de forma de betonilha com 2 cm de espessura, a cobertura é uma laje de betão armado de 20 cm e o revestimento interior é de reboco tradicional com uma espessura de 2 cm.

Tabela 3.13 – Cobertura, M2.

Cobertura	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica $(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$
Revestimento exterior	Tela de Impermeabilização	-	-	
Isolamento	Eps	0,02	0,042	0,48
Camda de Forma	Betonilha de Regularização	0,02	0,25	0,08
Cobertura	Laje Betão Armado	0,2	2	0,10
Revestimento Interior	Reboco Tradicional	0,02	1,3	0,02
Resistência SE				0,04
Resistência SI				0,10
Total		0,26		0,81

O pavimento térreo de M2 tem 22 cm de espessura, a sua resistência térmica é $R=0,11 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$, é composto por revestimento interior de mosaicos cerâmicos com 1 cm de espessura, camada intermédia de argamassa de regularização ou assentamento com 1 cm de espessura e laje de betão armado com 20 cm de espessura.

Tabela 3.14 – Pavimento térreo, M2.

Pavimento Térreo	Material	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	Resistência Térmica
Revestimento Interior	Mosaico Cerâmico	0,01	2,3	0
Camada Intermédia	Argamassa de Regularização	0,01	1,3	0,01
Laje	Betão Armado	0,2	2	0,1
Total		0,22		0,11

3.9. Análise e discussão de resultados

Os dados que se apresentam de seguida são resultado de várias simulações. Para facilitar a sua exposição foram compilados sobre a forma gráfica.

3.9.1. Temperaturas interiores médias

No presente subcapítulo estão dispostos os resultados relativos à variação de temperaturas interiores médias do modelo elementar, tanto para SB como para M2. Os dados relativos a M1 seguem em anexo. Os valores médios de temperatura que a seguir se apresentam, têm por base os valores de temperatura que se verificaram para todas as horas de um ano.

Para SB temos então que a temperatura interior média mínima verificada para a orientação N/S E/W foi de 21,301°C para a forma “Q” e que a temperatura média máxima foi de 21,503°C para a forma “A”, tendo-se neste caso verificado entre as diferentes formas geométricas uma diferença de temperaturas de 0,202°C.

A temperatura interior média mínima verificada para a orientação NE/SW SE/NW foi de 21,308°C para a forma “Q” e a média máxima foi de 21,504°C para a forma “B^T”, neste caso verificou-se uma amplitude térmica de 0,195°C.

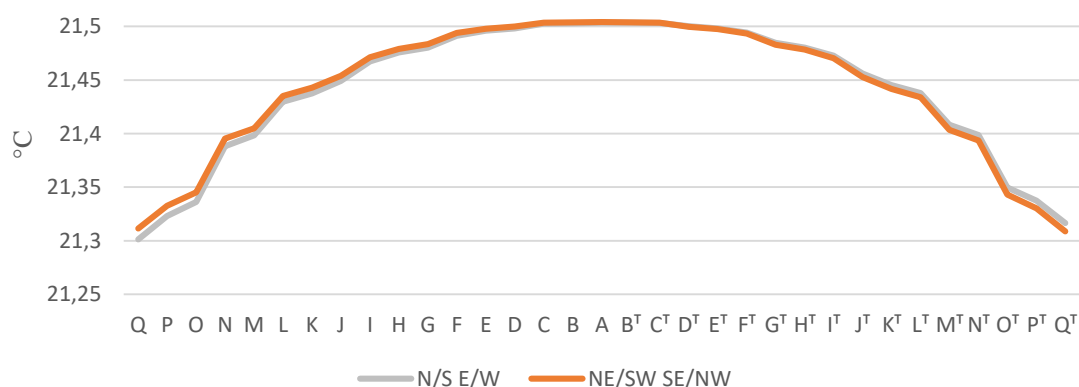


Figura 3.5 - Temperatura média interior, SB.

Para M2 a temperatura interior média mínima verificada para a orientação N/S E/W foi de 22,38°C para a forma “Q” e a média máxima foi de 22,63°C para a forma “A”, tendo-se neste caso verificado entre as diferentes formas geométricas uma diferença de temperaturas de 0,24°C.

A temperatura interior média mínima verificada para a orientação NE/SW SE/NW foi de 22,39°C para a forma “Q^T” e a temperatura média máxima foi de 22,63°C para a forma “A”. Neste caso verificou-se entre as diferentes formas geométricas uma diferença máxima de temperaturas de 0,23°C.

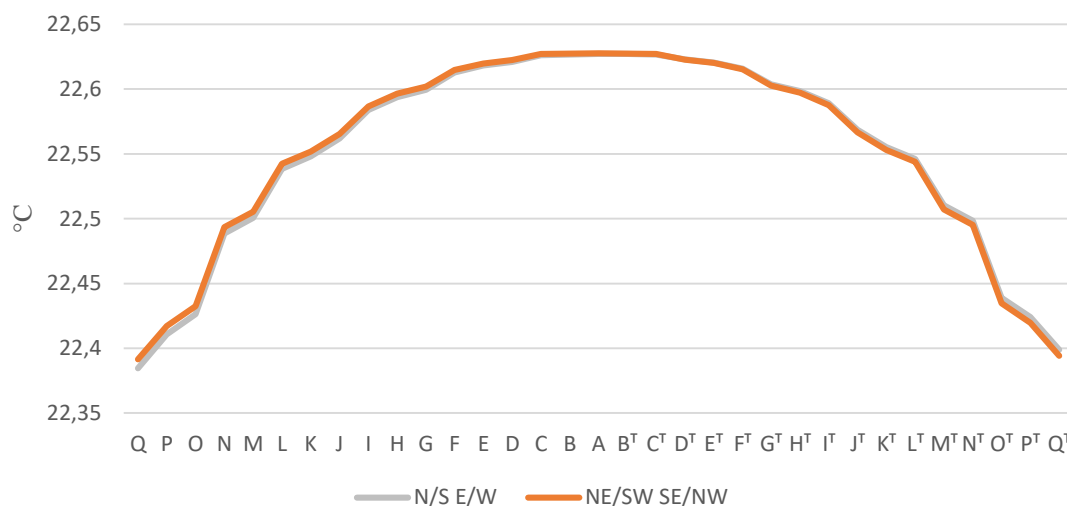


Figura 3.6 - Temperatura média interior, M2.

É de salientar que para a solução M2 a amplitude térmica é superior à verificada em SB, tal sucede nas duas orientações analisadas.

Como se pode no ver na figura 3.7 as temperaturas interiores médias aumentam à medida que o isolamento térmico aumenta. Neste caso temos então que M2 apresenta as temperaturas interiores mais elevadas de entre todos os conjuntos de soluções construtivas analisadas.

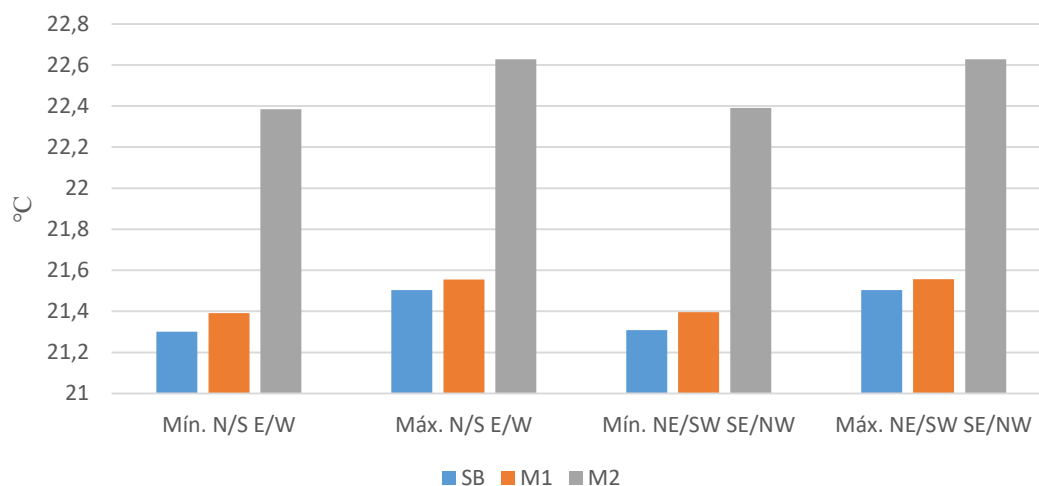


Figura 3.7 - Temperaturas interiores médias.

Independentemente do conjunto de soluções construtivas analisadas, as temperaturas médias mais altas estão sempre associadas a formas geométricas mais próximas do quadrado, enquanto temperaturas médias mais baixas são verificadas em formas geométricas mais retangulares. Para todos os conjuntos de soluções construtivas, as temperaturas médias interiores mais elevadas registaram-se para a forma “A”, enquanto os valores médios mínimos de temperaturas foram verificados nas formas “Q” e “Q^T”. Esta situação ocorreu nas duas orientações analisadas.

3.9.2. Temperaturas interiores máximas e mínimas

As variações de temperaturas máximas e mínimas verificadas no interior do modelo elementar acabaram por ter um desenvolvimento semelhante ao já apresentado. Neste caso mais uma vez se verificou que, para todas as soluções, as temperaturas máximas se verificaram em formas geométricas mais quadradas e as temperaturas mínimas se verificaram para formas geométricas mais retangulares.

Na figura 3.8 é perceptível que à medida que o isolamento térmico do modelo elementar aumenta, aumentam também as temperaturas mínimas verificadas no seu interior. Neste caso as temperaturas interiores mínimas mais elevadas foram verificadas para o conjunto de soluções M2 e as temperaturas interiores mínimas mais baixas foram verificadas para o conjunto de soluções SB. De entre os três conjuntos de soluções construtivas analisados à partida será M2 o que apresentará menores gastos com energia para aquecimento, visto que é para este que se verificam as temperaturas mínimas mais elevadas.

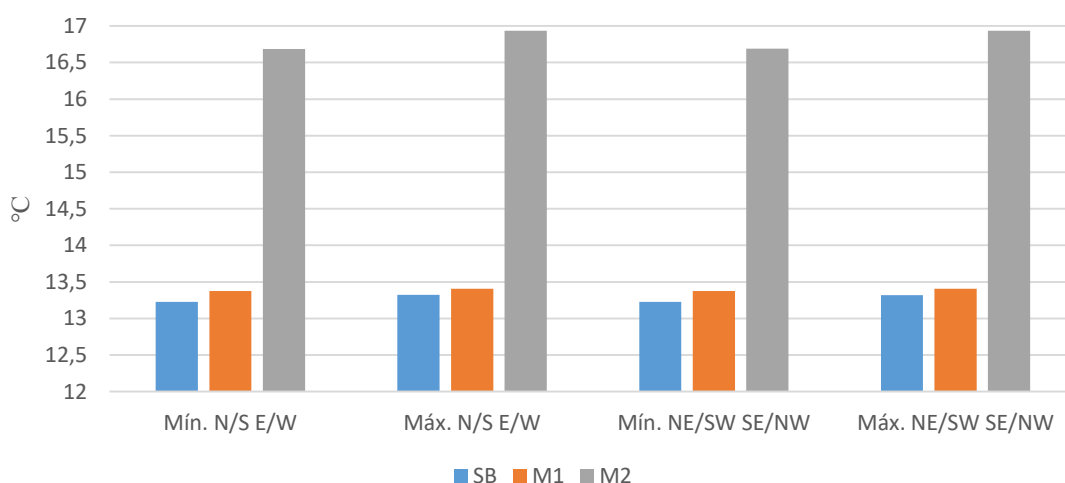


Figura 3.8 - Temperaturas interiores mínimas.

Na figura 3.9 é visível que, de SB para M1 existe um crescimento das temperaturas interiores máximas e que de M1 para M2 se verifica o contrário, existindo portanto uma diminuição destas. Tendo em conta a variação das temperaturas máximas, de entre todos os conjuntos de soluções construtivas analisados, os menores consumos com energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar acabarão por se verificar para o conjunto de soluções M2, pois é neste que se verificam as temperaturas máximas mais baixas. Pelo contrário à partida os maiores gastos com energia para arrefecimento acabarão por se verificar para o conjunto de soluções M1, pois neste foram verificadas as temperaturas máximas mais elevadas.

Tendo então em conta as variações de temperatura do espaço interior, fica claro que à partida os menores consumos com energia para climatização acabarão por se verificar para o conjunto de soluções M2, pois é para este que se verificam tanto as menores temperaturas máximas como as maiores temperaturas mínimas.

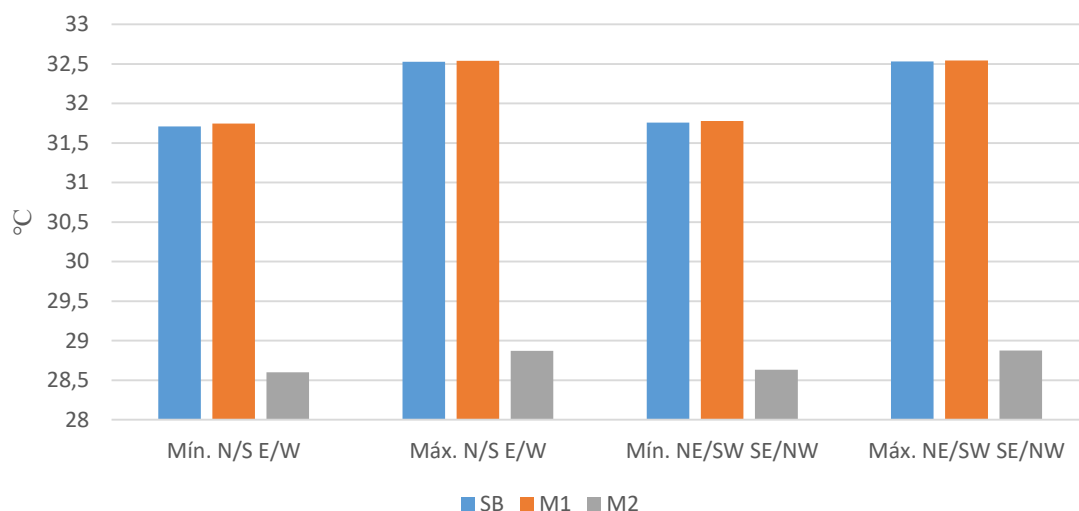


Figura 3.9 - Temperaturas interiores máximas.

3.9.3. Temperaturas de conforto

No presente estudo ficou definido que o ar condicionado entraria em funcionamento sempre que a temperatura no interior do modelo elementar fosse inferior a 18°C ou superior a 25°C. Como se viu anteriormente as temperaturas interiores variam de forma geométrica para forma geométrica. Neste contexto torna-se importante verificar qual a quantidade efetiva de graus que a unidade de climatização terá de aquecer ou arrefecer de modo a manter as condições de conforto térmico interiores. À partida quanto maiores estas quantidades, maiores serão também os consumos energéticos totais da unidade de climatização, pois o “esforço” que esta terá de fazer para climatizar o espaço interior aumenta.

Para o período de aquecimento, a quantidade anual total de graus abaixo da temperatura de conforto foi calculada com base na seguinte equação:

$$\text{Carga de Aquecimento} = \sum_i (18 - T_i) ; T < 18^{\circ}\text{C}$$

Para o período de arrefecimento, a quantidade anual total de graus acima da temperatura de conforto foi calculada com base na seguinte equação:

$$\text{Carga de Arrefecimento} = \sum_i (T_i - 25) ; T > 25^{\circ}\text{C}$$

Tanto para o período de aquecimento como para o período de arrefecimento, T assume o valor da temperatura registada no interior do modelo elementar hora a hora, para todos os dias do ano. Esta carga será então indicativa dos possíveis gastos energéticos da unidade de climatização. No presente subcapítulo apresentam-se então os resultados obtidos tanto para SB como para M2, os dados relativos a M1 seguem em anexo.

Para SB, a concentração máxima absoluta de graus a aquecer será de $3462,29^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ e a concentração mínima absoluta de graus a arrefecer será de $3082,74^{\circ}\text{C}$. Estas verificar-se-ão respetivamente para as formas geométricas “ Q^T ” e “A”, ambas segundo a orientação N/S E/W. Neste caso a unidade de climatização poderá ser dispensada de aquecer um total de $379,55^{\circ}\text{C}$.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW teremos para a forma “ Q^T ” a maior concentração de graus a aquecer, com um total de $3460,09^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$. Para esta orientação a menor concentração de graus a aquecer será de $3085,31^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ para a forma “A”. Neste caso a unidade de climatização poderá no máximo ser dispensada de aquecer $374,78^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$.

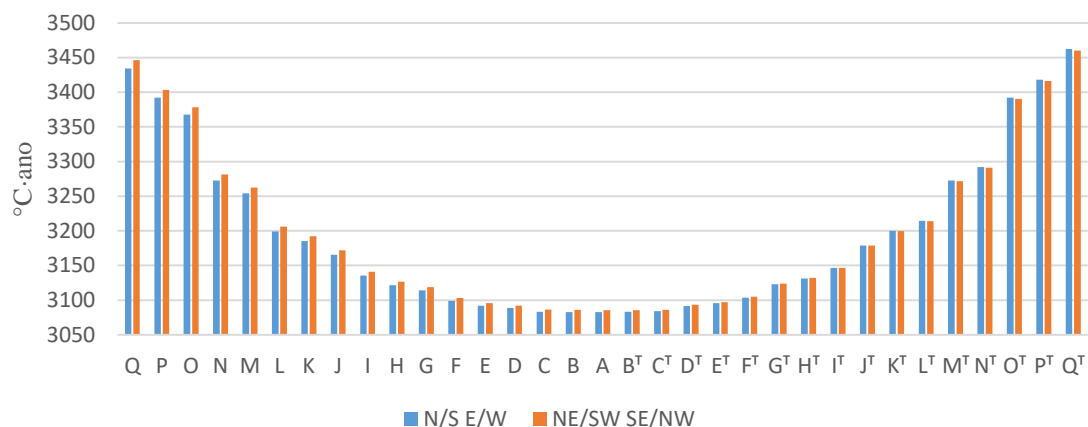


Figura 3.10 - Total de temperaturas abaixo da temperatura de conforto, SB.

Para M2 teremos segundo a orientação N/S E/W, as maiores e menores concentrações absolutas de graus a aquecer. Estas verificam-se respetivamente para as formas “ Q^T ” e “A”, assumindo os valores de $146,9^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ e de $71,87^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$, existindo portanto nesta orientação um potencial de poupança energético relacionado com dispensa de aquecimento de $75,04^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$.

Para a orientação NE/SW SE/NW, terão no máximo de ser arrefecidos $146,6^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ para a forma geométrica “Q” e no mínimo $72,14^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ para a forma “A”, existindo portanto um potencial de poupança energético que pode ser correlacionado com dispensa de aquecer $74,49^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$.

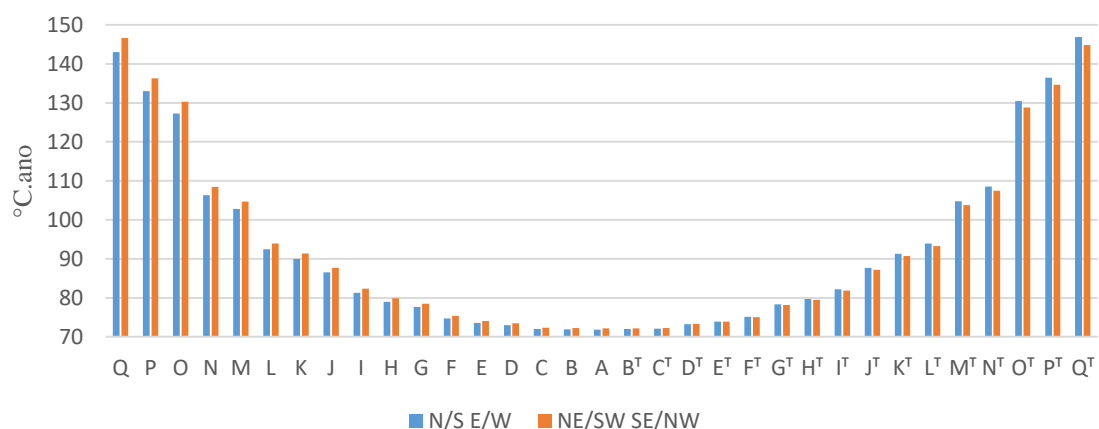


Figura 3.11 - Total de temperaturas abaixo da temperatura de conforto, M2.

Independentemente da orientação ou do conjunto de soluções construtivas analisado, a curva do acumulado de graus abaixo da temperatura de conforto apresenta sempre um desenvolvimento parabólico, com concavidade voltada para cima. Nas figuras 3.10 e 3.11 é visível que a maior concentração de graus a aquecer está associada a formas geométricas mais retangulares, esta concentração diminui à medida que os comprimentos das fachadas do modelo elementar se aproximem entre si, verificando-se neste caso menores acumulações de graus a aquecer para formas geométricas mais quadradas.

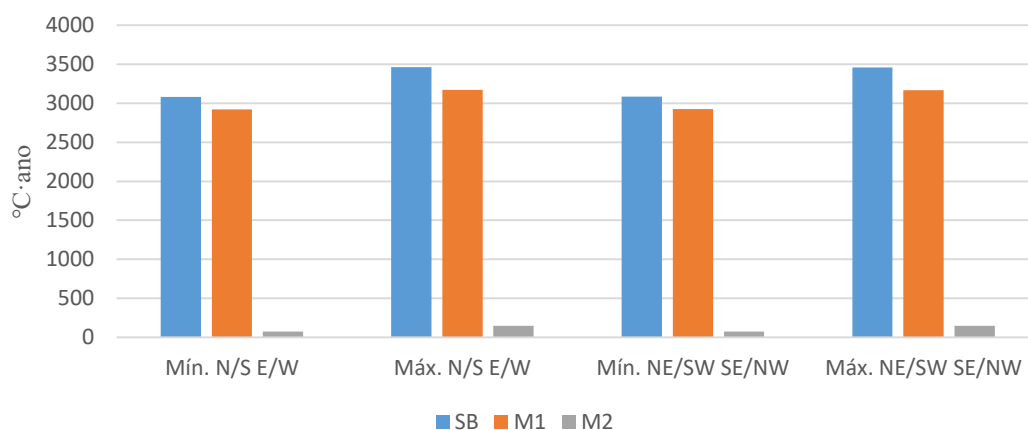


Figura 3.12 - Comparação de temperaturas totais abaixo 18°C.

Na figura 3.11 é visível que a concentração de graus a aquecer diminui à medida que o isolamento térmico aumenta. Para o período de inverno as menores concentrações de graus a aquecer foram verificadas para o conjunto de soluções construtivas M2. As maiores concentrações de graus a aquecer ocorreram para SB. É ainda de salientar que neste caso as menores concentrações de graus a aquecer ocorreram sempre para a forma geométrica “A” e que as menores concentrações foram alternado entre a forma “Q” e “Q^T”.

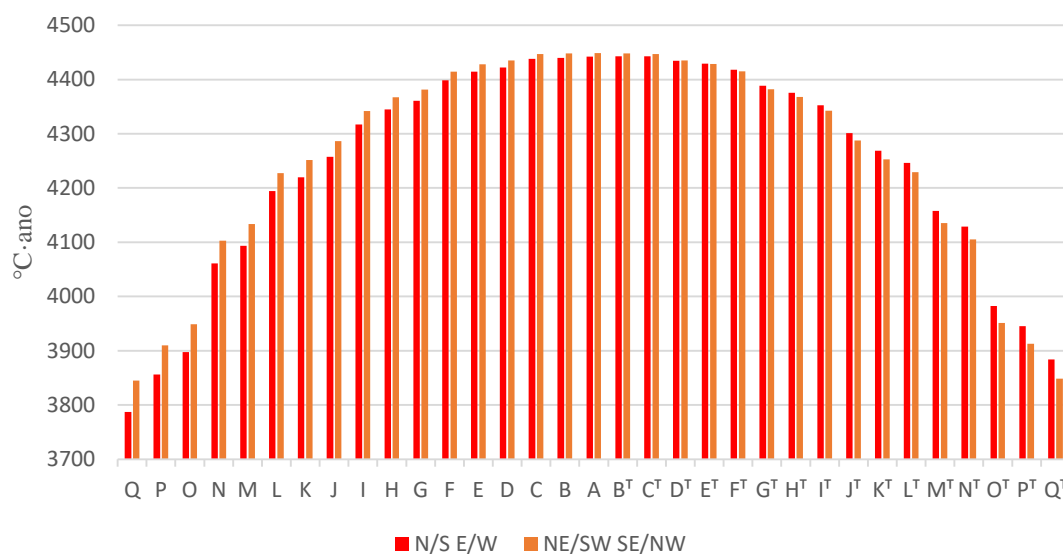


Figura 3.13 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto, SB.

Para SB a concentração máxima absoluta de graus a arrefecer será de $4448,6^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NE/SW SE/NW para a forma “A”, no entanto a menor concentração absoluta de graus a arrefecer ocorre para a orientação N/S E/W, atingindo um total de $3787,33^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ para a forma geométrica “Q”.

Segundo a orientação N/S E/W a maior concentração de graus a arrefecer foi de $4442,84^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ para a forma “ B^T ”, existindo neste caso um potencial de poupança de $555,11^{\circ}\text{C}$.

Para a orientação NE/SW SE/NW a menor concentração de graus a arrefecer foi de $3845,17^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ para a forma forma “ Q^T ”, segundo esta orientação a unidade de climatização poderá ser dispensada de arrefecer $603,43^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$.

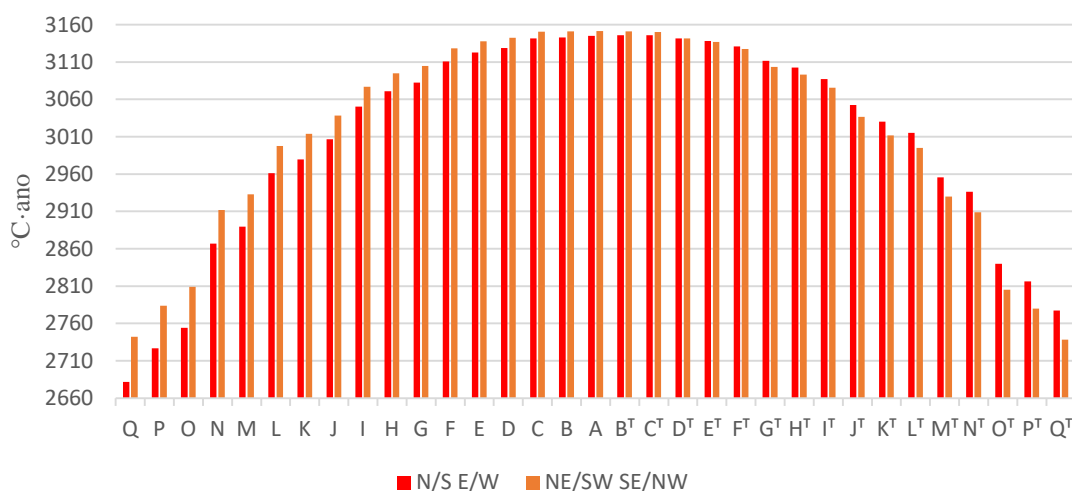


Figura 3.14 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto, M2.

Para M2 a maior concentração absoluta de graus a arrefecer ocorre para forma geométrica “A” segundo a orientação NE/SW SE/NW, tendo neste caso de ser arrefecidos um total $3151,62^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$, por outro lado a menor concentração absoluta de graus a arrefecer ocorre segundo a direção N/S E/W para a forma geométrica “Q”, tendo neste caso de ser arrefecidos apenas $2681,58^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$.

Segundo a direção N/S E/W, a maior concentração de graus a arrefecer será de $3146^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$ para a forma “ C^T ”, neste caso a unidade de climatização pode ser dispensada de arrefecer $464,42^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$.

Para a orientação NE/SW SE/NW, a menor concentração de graus a arrefecer será de $2738,19^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$, para a forma “ Q^T ”, nesta orientação a unidade de climatização pode no máximo ser dispensada de arrefecer $413,43^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$.

Para o período de arrefecimento, as curvas representativos da acumulação de graus acima da temperatura de conforto apresentam um desenvolvimento parabólico com concavidade voltada para baixo. Tanto na figura 3.13 como na figura 3.14 é visível que a maior concentração de graus a arrefecer ocorre sempre na zona central que corresponde a formas geométricas mais próximas do quadrado, à medida que se avança para as laterais dos gráficos a acumulação de graus vai diminuindo sucessivamente, deste modo quanto mais retangular for a geometria do modelo elementar menor será a necessidade de arrefecer o seu espaço interior.

Para todas as orientações e em todos os conjuntos de soluções construtivas analisados, verificou-se existirem sempre maiores acumulações de graus fora das temperaturas de conforto para o período de arrefecimento.

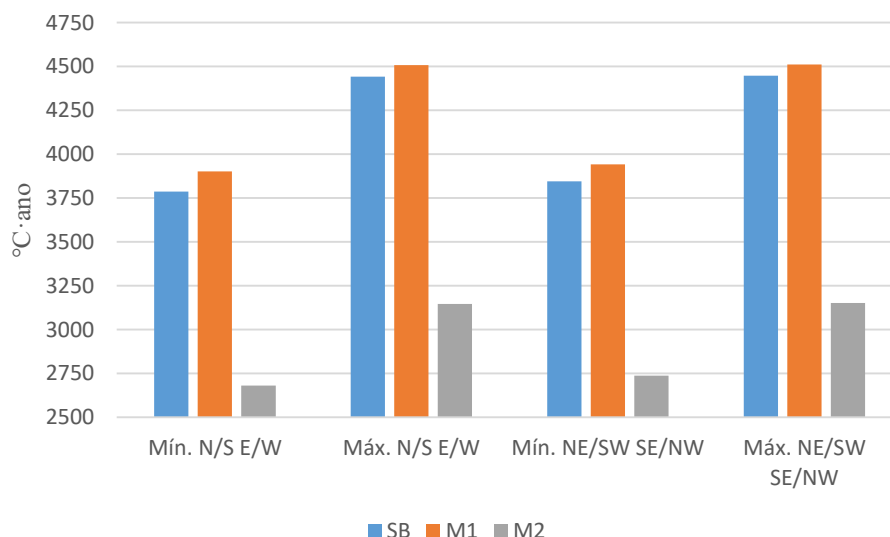


Figura 3.15 - Comparação de temperaturas totais acima de 25°C.

Na figura 3.15 é visível que, de SB para M1 existe um crescimento na concentração do total de graus a arrefecer e que de M1 para M2 se verifica o contrário, existindo portanto uma diminuição desta concentração. Deste modo é de esperar que os consumos energéticos em período de arrefecimento cresçam de SB para M1 e decresçam de M1 para M2. Neste caso as menores acumulações de graus a arrefecer ocorreram para as formas “Q” e “Q^T” e que as maiores acumulações de graus a arrefecer ocorreram para as formas “B^T” e “C^T”.

3.9.4. Período de funcionamento da unidade de climatização

É do senso comum partir do princípio que quanto mais tempo um dispositivo elétrico se encontra em funcionamento maiores serão os gastos energéticos associados a este. No caso da climatização isso não é verdade, pois como se sabe, para além do tempo que este está em funcionamento é necessário ter também em conta a carga com que este terá de trabalhar. Assim para uma hora de funcionamento, os gastos com energia aumentam à medida que a temperatura do espaço interior se vai afastando da temperatura de conforto. É ainda necessário ter em conta que os aparelhos de climatização tendem a gastar mais energia para aquecer o espaço interior de um edifício do que para o arrefecer. Deste modo os dados que a seguir se apresentam deverão ser encarados apenas como indicativos do potencial desempenho do modelo elementar.

Os tempos totais de funcionamento da unidade de climatização foram obtidos a partir dos dados de consumo de energia horários. Contabilizou-se como uma hora de funcionamento da unidade de climatização todas as situações em que ao longo de um ano se verificou existirem gastos com energia para climatização do espaço interior, por mais elevados ou mais baixos que estes fossem.

Em seguida apresentam-se os dados relativos aos tempos de funcionamento da unidade de climatização, parciais e totais para SB e M2, os dados relativos a M1 seguem em anexo. Os tempos totais de funcionamento da unidade de climatização são resultado da soma dos tempos parciais de funcionamento para o período de aquecimento com os tempos de funcionamento da unidade em período de arrefecimento.

Para SB, o tempo máximo absoluto de funcionamento da unidade de climatização em período de aquecimento será de 2457 horas ao longo de um ano, para a forma geométrica “ Q^T ” segundo a orientação NE/SW SE/NW. O tempo mínimo absoluto de funcionamento será de 2277 horas ao longo de um ano, esta situação verifica-se para as formas geométricas compreendidas entre “C” até “ C^T ”, para as duas orientações analisadas.

Para a orientação N/S E/W o tempo máximo de funcionamento será de 2454 horas para forma “ Q^T ”, sendo que para esta orientação a unidade de climatização poderá no máximo ser dispensada de funcionar por 7 dias e 9 horas.

Para a orientação NE/SW SE/NW, a unidade de climatização poderá no máximo ser dispensada de funcionar por 7 dias e 12 horas, sem prejuízo da manutenção das condições de conforto térmico no interior do modelo elementar.

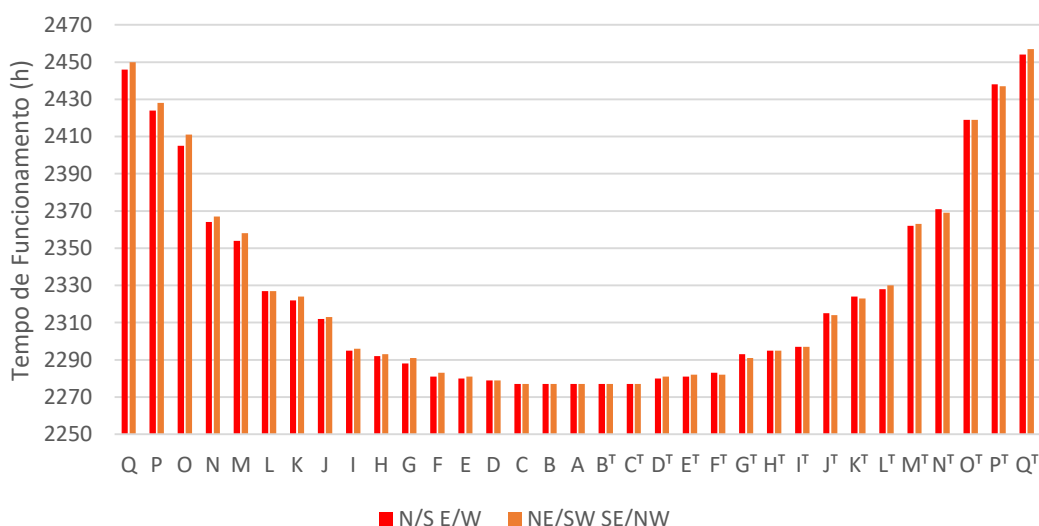


Figura 3.16 - Horas de funcionamento em período de aquecimento, SB.

Para M2 em período de aquecimento, a unidade de climatização terá um tempo máximo absoluto de funcionamento de 336 horas para a forma geométrica “ Q^T ”, segundo a orientação N/S E/W. O tempo mínimo absoluto de funcionamento da unidade de climatização será neste caso de 199 horas, tempo este que se verifica para as formas geométricas de “C” a “ C^T ”, segundo a orientação N/S E/W e para as formas geométricas “A” e “ B^T ”, segundo a orientação NE/SW SE/NW.

Neste caso segundo a orientação N/S E/W, a unidade de climatização poderá ser dispensada de funcionar por 5 dias e 17 horas ao longo de um ano sem prejuízo da manutenção das condições de conforto térmico no interior do modelo elementar.

Para a orientação NE/SW SE/NW, em período de aquecimento a unidade de climatização terá no máximo de funcionar por 334 horas, existindo portanto para esta orientação um potencial de

poupança energético máximo, que se pode correlacionar com a possível dispensa da unidade de climatização por um período de 5 dias e 15 horas.

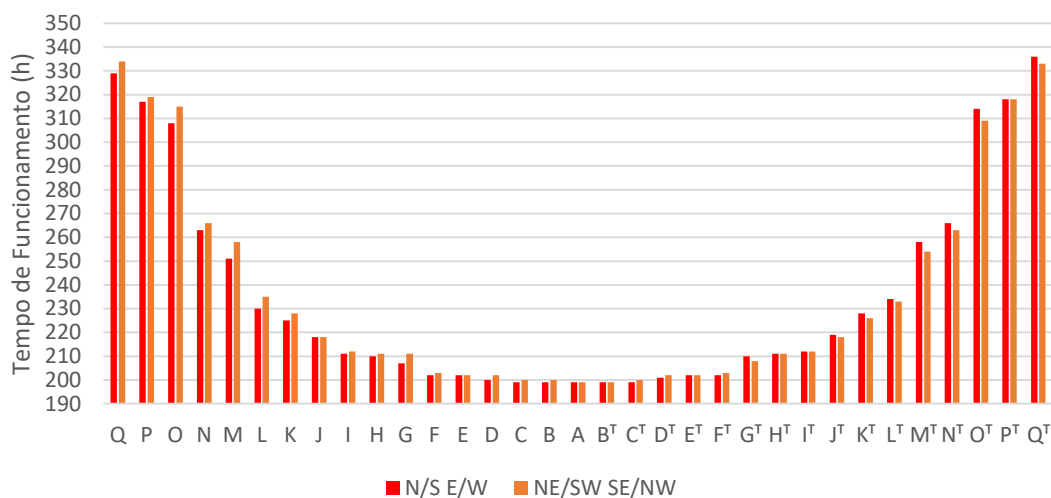


Figura 3.17 - Horas de funcionamento em período de aquecimento, M2.

Para todos os conjuntos de soluções construtivas analisados, em período de aquecimento, os gráficos representativos das horas de funcionamento da unidade de climatização têm um comportamento semelhante ao de uma parábola com concavidade voltada para cima, onde se vê que na zona central, a unidade de climatização se encontra em funcionamento menos tempo que nas laterais, o que quer dizer que para formas geométricas mais próximas do quadrado não existirá tanta necessidade de aquecer a habitação. À medida que nos vamos afastando da forma do quadrado para os extremos do gráfico, que correspondem a formas mais retangulares, o número de horas de funcionamento da unidade de climatização vai aumentando. Estes dados estão em concordância com os já expostos nas figuras 3.10 e 3.11 do subcapítulo anterior, onde se verifica também existir um menor número de graus a aquecer para formas geométricas mais próximas do quadrado, e um crescimento progressivo do número de graus a aquecer para formas mais retangulares.

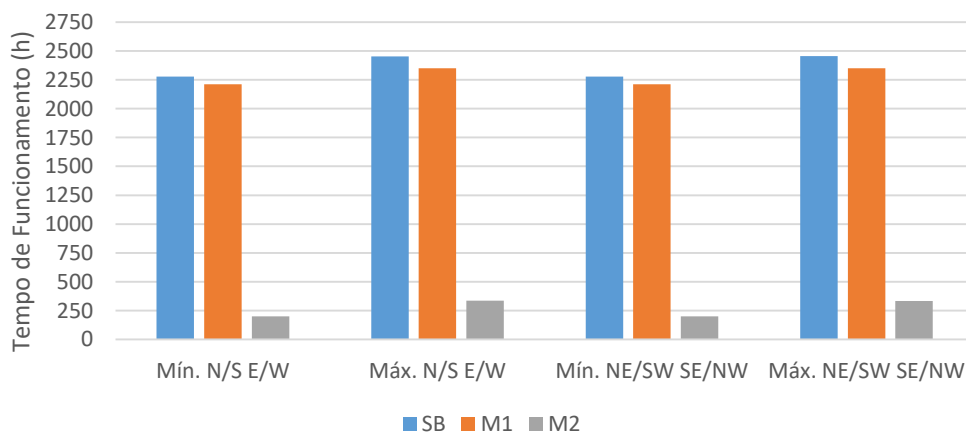


Figura 3.18 - Comparação de horas de funcionamento em período de aquecimento.

Na figura 3.18 é visível que à medida que o isolamento térmico aumenta, os tempos de funcionamento da unidade de climatização vão diminuindo. Deste modo, para SB os tempos de funcionamento da unidade de climatização em período de aquecimento serão os maiores de entre todos os tempos registados nas várias simulações feitas. M2 regista os menores tempos em que será necessário aquecer o interior do modelo elementar com vista à manutenção da sensação de conforto térmico interior.

Para SB em período de arrefecimento, o tempo máximo absoluto de funcionamento da unidade de climatização será de 2028 horas ao longo do ano, esta situação verifica-se para as formas geométricas compreendidas de “D” até “C^T”, segundo a orientação NE/SW SE/NW. O tempo mínimo absoluto de funcionamento da unidade de climatização será de 1911 horas ao longo do ano, para a forma geométrica “Q”, segundo a orientação N/S E/W.

Segundo a orientação N/S E/W o tempo máximo de funcionamento da unidade de climatização será de 2027 horas para a forma geométrica “A”, sendo que para esta orientação a unidade de climatização pode na melhor das hipóteses ser dispensada de funcionar por 4 dias e 20 horas.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW, o menor tempo de funcionamento ocorre para forma geométrica “Q^T”, sendo este de 1915 horas, a unidade de climatização segundo esta orientação pode no máximo ser dispensada de funcionar por 4 dias e 17 horas, sem prejuízo da manutenção das condições de conforto térmico no interior do modelo elementar.

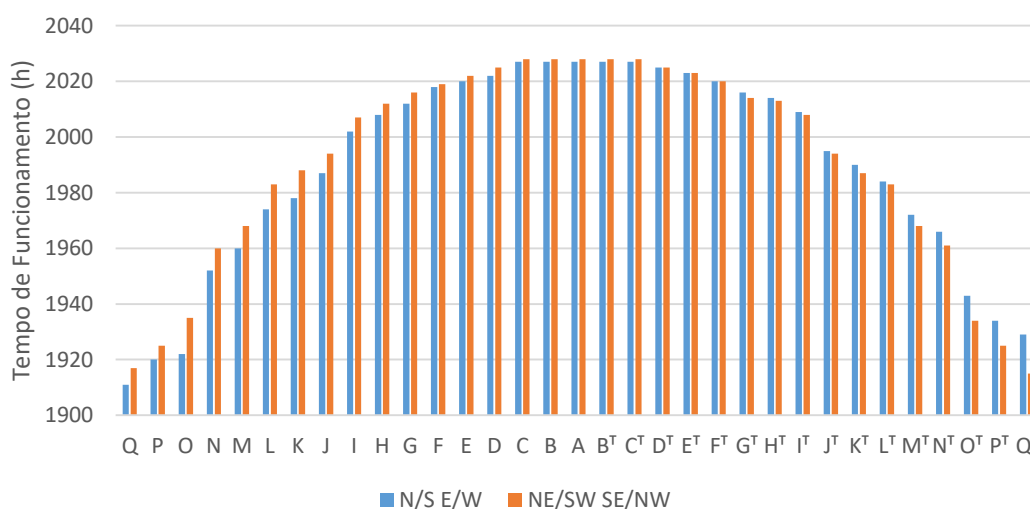


Figura 3.19 - Horas de funcionamento em período de arrefecimento, SB.

Para M2 em período de arrefecimento, o tempo máximo absoluto de funcionamento da unidade de climatização com vista à manutenção das condições de conforto térmico no espaço interior do modelo elementar será de 2429 horas, repartidas ao longo de um ano, situação que se verifica para as formas geométricas compreendidas de “C” a “C^T”, tanto segundo a orientação NE/SW SE/NW como segundo a orientação N/S E/W.

Para M2, o tempo mínimo absoluto de funcionamento da unidade de climatização em período de arrefecimento será de 2240 horas repartidas ao longo de um ano, esta situação ocorre segundo a orientação N/S E/W. Neste caso será então possível no máximo dispensar a unidade de climatização por 7 dias e 21 horas.

Para a orientação NE/SW SE/NW, a unidade de climatização terá de estar em funcionamento por um período de mínimo de 2261 horas, havendo portanto neste caso um potencial de poupança energético que está ligado com dispensa da unidade de climatização por um período de 7 dias.

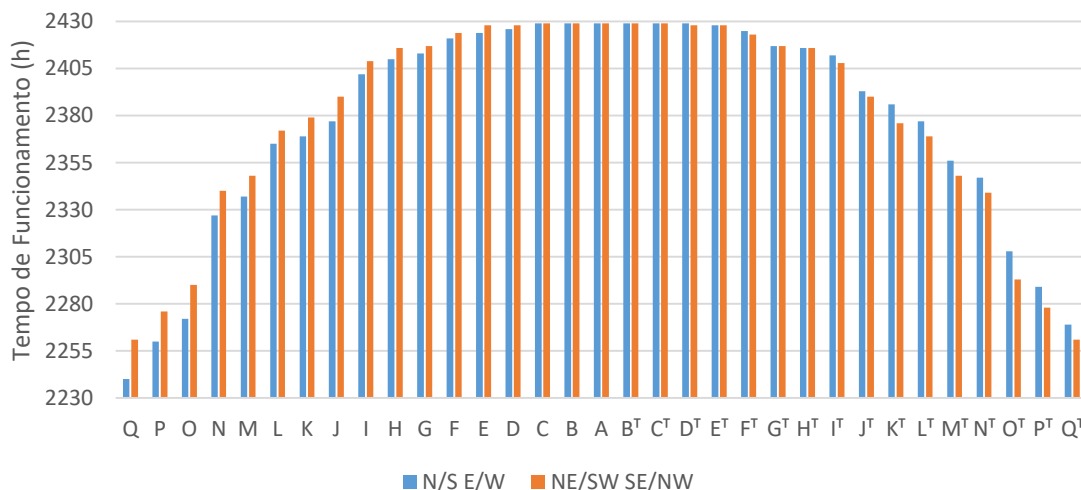


Figura 3.20 - Horas de funcionamento em período de arrefecimento, M2.

Para o período de arrefecimento em todas as soluções construtivas os gráficos representativos do somatório de horas de funcionamento da unidade de climatização apresentaram um comportamento semelhante ao de uma parábola com concavidade voltada para baixo, nestes é visível que, na zona central a unidade de climatização se encontra em funcionamento mais tempo do que nas zonas laterais, o que quer dizer que para formas geométricas mais próximas do quadrado existirá uma maior necessidade de arrefecer a habitação. À medida que nos vamos afastando da forma do quadrado para os extremos do gráfico, que correspondem a formas mais retangulares, o número de horas de funcionamento do ar condicionado vai diminuindo. Estes dados estão de acordo com os das figuras 3.13 e 3.14 do subcapítulo anterior, que mostram existir um maior número de graus a arrefecer para formas geométricas mais próximas do quadrado, e um decrescimento progressivo do número de graus a arrefecer para formas mais retangulares.

Na figura 3.21 é visível que à medida que o isolamento térmico aumenta, os tempos de funcionamento da unidade de climatização para período de arrefecimento vão aumentando, sendo que para o conjunto de soluções construtivas SB os tempos de funcionamento serão os menores de entre todos os conjuntos analisados e para M2 serão os maiores. Estes dados devem de ser analisados com cautela, de facto em período de arrefecimento embora a unidade de climatização se encontre em funcionamento mais tempo para M2 não é linear que para este conjunto de soluções se registem os maiores consumos de energia. Na figura 3.15 do subcapítulo anterior vimos que, as menores concentrações de graus acima da temperatura de conforto interior se registaram para o conjunto de soluções M2 e que as maiores concentrações se verificaram para o conjunto de soluções SB. O que acontece é que embora as menores cargas se verifiquem para M2 estas são mais distribuídas ao longo do tempo, acabando por fazer com que a unidade de climatização seja necessária por períodos mais longos, para SB acontece o contrário embora as cargas sejam maiores encontram-se mais concentradas no tempo, deste modo a unidade de climatização acaba por ser necessária para períodos mais curtos.

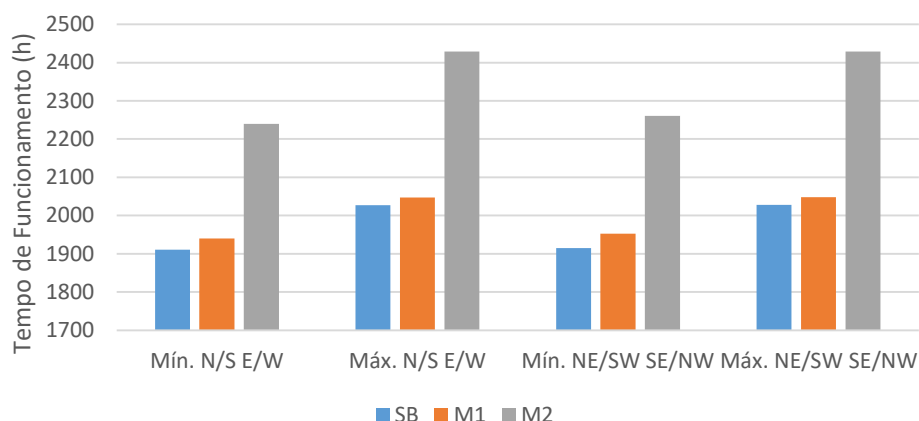


Figura 3.21 - Comparação de horas de funcionamento em período de arrefecimento.

Para o conjunto de soluções SB, tendo em conta tanto o período de arrefecimento como o período de aquecimento, teremos um período máximo absoluto de funcionamento da unidade de climatização de 4389 horas distribuídas ao longo do ano, neste caso o período mínimo absoluto de funcionamento será de 4294 horas, estas duas situações verificam-se respetivamente para as formas geométricas “ Q^T ” e “I”, segundo a orientação N/S E/W. Para esta orientação na melhor das hipóteses a unidade de climatização poderá ser dispensada por um período de 3 dias e 15 horas.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW, os maiores e menores tempos de funcionamento da unidade de climatização foram registados respetivamente para as formas geométricas “ Q^T ” e “F”, neste caso a unidade de climatização terá um período máximo de funcionamento de 4372 horas e um período mínimo de funcionamento de 4302 horas. Segundo esta orientação unidade de climatização pode ser dispensado no máximo por um período de 2 dias e 22 horas, sem prejuízo da manutenção das condições de conforto térmico interiores.

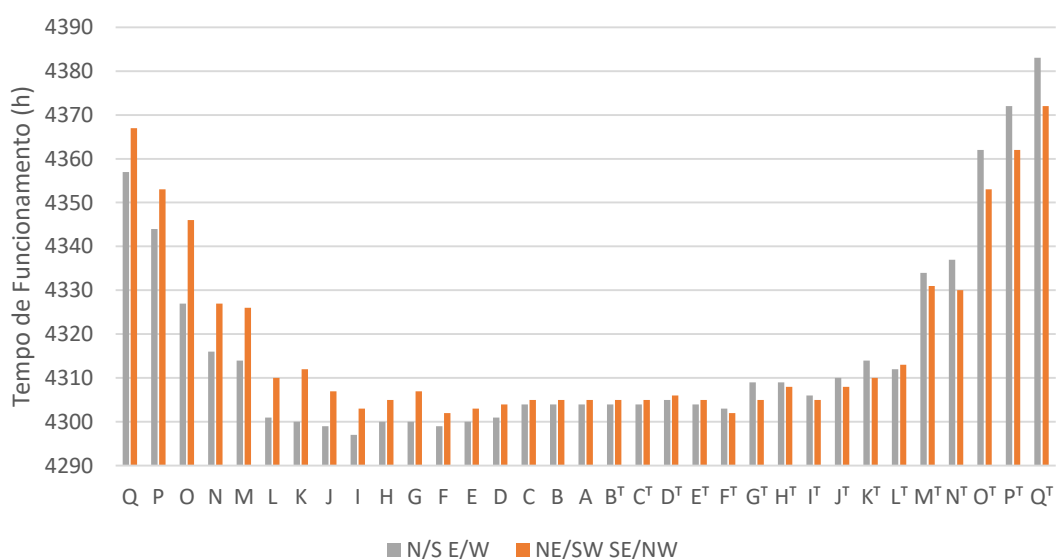


Figura 3.22 - Horas totais de funcionamento da unidade de climatização, SB.

Na figura 3.22, é visível que os menores tempos de funcionamento totais da unidade de climatização se encontram concentrados na zona central do gráfico, esta zona corresponde a formas geométricas próximas do quadrado, entre a forma geométrica “H” e até “ H^T ” os tempos de funcionamento da unidade de climatização são relativamente estáveis entre si. É ainda perceptível que os maiores tempos de funcionamento da unidade de climatização estão espalhados pelas zonas laterais, que correspondem a formas geométricas mais retangulares. Fica claro que para o conjunto de soluções SB quanto mais retangular for o modelo elementar maiores serão os períodos de funcionamento da unidade de climatização.

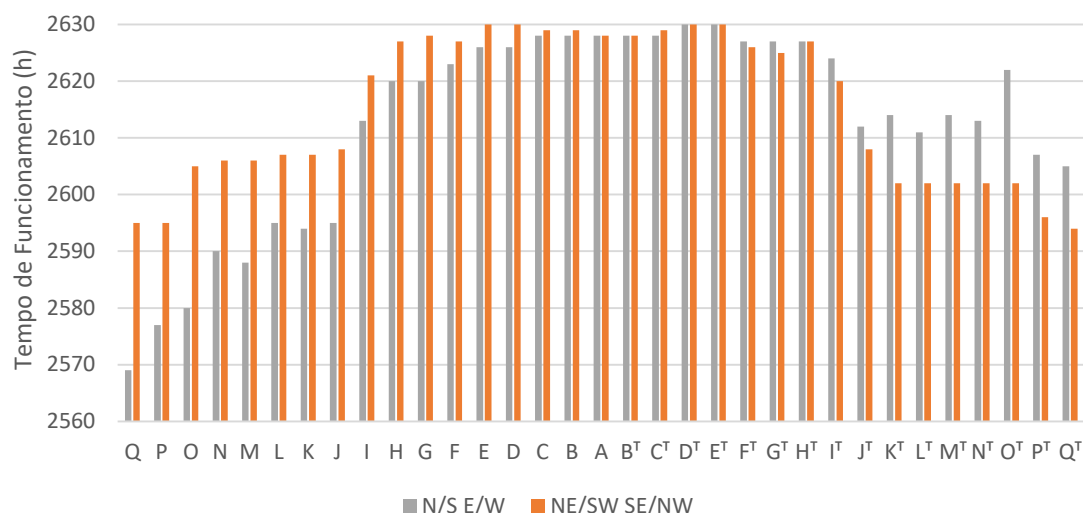


Figura 3.23 - Horas totais de funcionamento da unidade de climatização, M2.

Para o conjunto de soluções M2, tendo em conta tanto o período aquecimento como o período de arrefecimento, a unidade de climatização estará em funcionamento por um período máximo de 2630 horas, para as formas geométricas “ D^T ” e “ E^T ”, segundo a orientação N/S E/W e para as formas geométricas “E”, “D”, “ D^T ” e “ E^T ” para a orientação NE/SW SE/NW.

Segundo a orientação N/S E/W para a forma “Q” foi registado o período mínimo absoluto de funcionamento da unidade de climatização. Neste caso para manter as temperaturas dentro dos parâmetros de conforto a unidade de climatização teria de funcionar por um período de 2569 horas, deste modo segundo esta direção a unidade de climatização poderia ser dispensada por um período máximo de 2 dias e 13 horas.

Para a orientação NE/SW SE/NW, a unidade de climatização terá um período mínimo de funcionamento de 2594 horas para a forma “ Q^T ”, verificando-se neste caso um potencial de poupança energética que se relaciona com a possibilidade de dispensar a climatização por um período de 1 dia e 12 horas.

Na figura 3.23, que representa o total de horas de funcionamento da unidade de climatização, é visível que os maiores períodos de funcionamento estão associados a formas geométricas mais próximas do quadrado, de “I” até “ I^T ” os períodos de funcionamento são relativamente estáveis, começando a diminuir à medida que o modelo elementar assume geometrias cada vez mais retangulares.

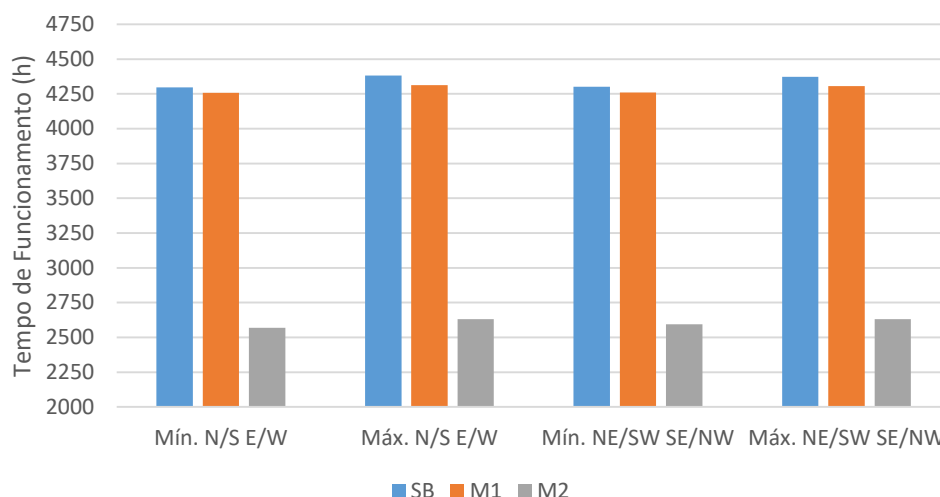


Figura 3.24 - Comparação de horas de funcionamento totais da unidade de climatização.

Na figura 3.24 é visível que à medida que o isolamento térmico aumenta, o tempo de funcionamento total da unidade de climatização diminui. Deste modo de entre todos os conjuntos de soluções construtivas analisados, os menores tempos de funcionamento da unidade de climatização tendo em conta tanto o período de aquecimento como o período de arrefecimento, foram registados para o conjunto de soluções M2. Os maiores tempos de funcionamento da unidade de climatização foram registados para o conjunto de soluções SB.

3.9.5. Necessidades energéticas

As necessidades energéticas das várias geometrias do modelo elementar foram obtidas partindo do princípio que a unidade de HVAC existente no software EnergyPlus entraria em funcionamento sempre que a temperatura no espaço interior do modelo elementar fosse inferior a 18°C ou superior a 25°C.

Em seguida apresentam-se as necessidades energéticas anuais do modelo elementar para o período de arrefecimento, aquecimento e totais, para o conjunto de soluções construtivas SB e M2, os dados relativos a M1 seguem em anexo.

Para o conjunto de soluções construtivas SB, os maiores gastos absolutos com energia para aquecimento verificaram-se para a forma geométrica “ Q^T ” segundo a orientação NS EW, assumindo o valor de 20,48 kWh/m²·ano. Os menores gastos absolutos com energia para aquecimento verificaram-se também segundo esta orientação, para forma geométrica “A” assumindo o valor de 16,93 kWh/m²·ano. Para a orientação NS EW, em período de aquecimento verifica-se então existir um potencial máximo de poupança energético de 3,55 kWh/m²·ano.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW, temos para a forma “ Q^T ” os maiores gastos com energia para aquecimento, assumindo estes o valor de 20,46 kWh/m²·ano. Segundo esta orientação os menores consumos de energia para aquecimento ocorrem para a forma geométrica “A”, assumindo o valor de 16,95 kWh/m²·ano. Segundo a orientação NE/SW SE/NW existe portanto um potencial máximo de poupança energético de 3,51 kWh/m²·ano.

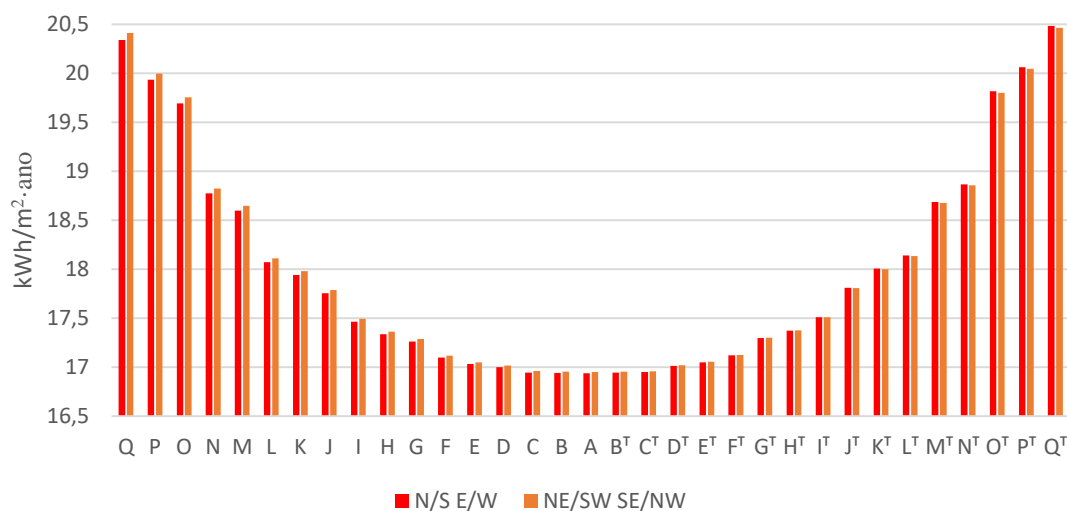


Figura 3.25 - Necessidades energéticas período de aquecimento, SB.

Para o conjunto de soluções M2, a energia máxima absoluta gasta para aquecimento do espaço interior do modelo elementar será 0,695 kWh/m²·ano para a forma “Q”, segundo a orientação NE/SW SE/NW. Os menores gastos absolutos com energia para aquecimento, ocorrem para a forma “A”, segundo a orientação N/S E/W assumindo o valor de 0,328 kWh/m²·ano.

Para a orientação N/S E/W, os maiores gastos com energia para aquecimento ocorrem para a forma “Qᵀ”, assumindo o valor de 0,694 kWh/m²·ano, sendo que o potencial máximo de poupança de energia para esta orientação será de 0,366 kWh/m²·ano.

Para a orientação NE/SW SE/NW, os menores gastos energéticos ocorrem para a forma “A”, assumindo o valor de 0,329 kWh/m²·ano, sendo que neste caso o potencial máximo de poupança será de 0,367 kWh/m²·ano.

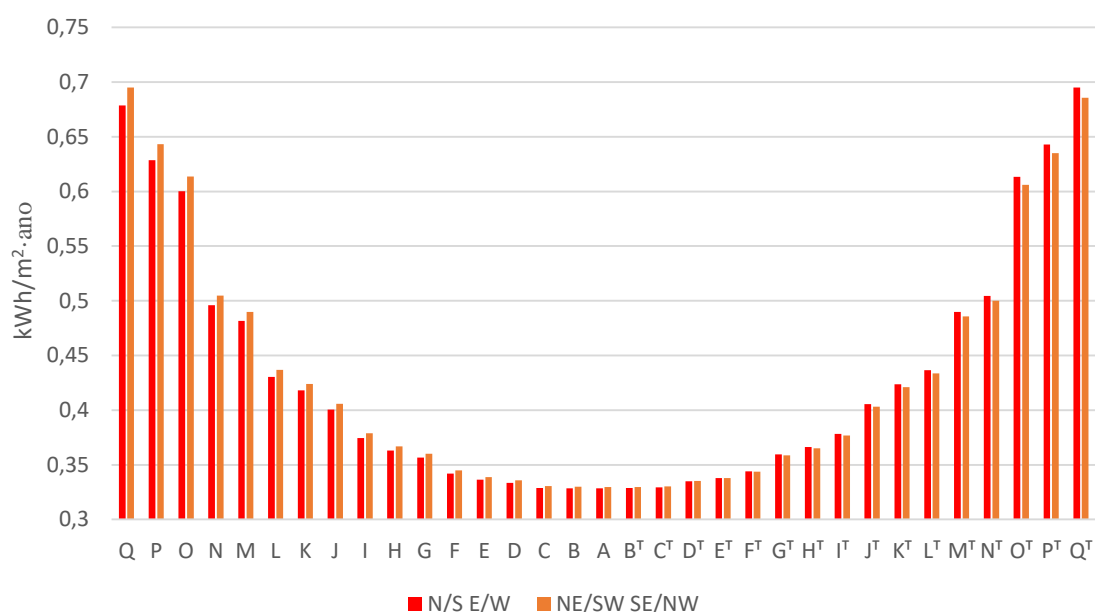


Figura 3.26 - Necessidades energéticas período de aquecimento, M2.

Para o período de aquecimento, nas figuras 3.25 e 3.26 é visível que as curvas representativas das necessidades energéticas do modelo elementar apresentam um desenvolvimento parabólico, com concavidade voltada para cima. Nestas é visível que as menores necessidades energéticas para aquecimento estão associadas a geometrias mais próximas do quadrado. À medida que o modelo elementar assume geometrias cada vez mais retangulares as necessidades energéticas para aquecimento vão aumentando.

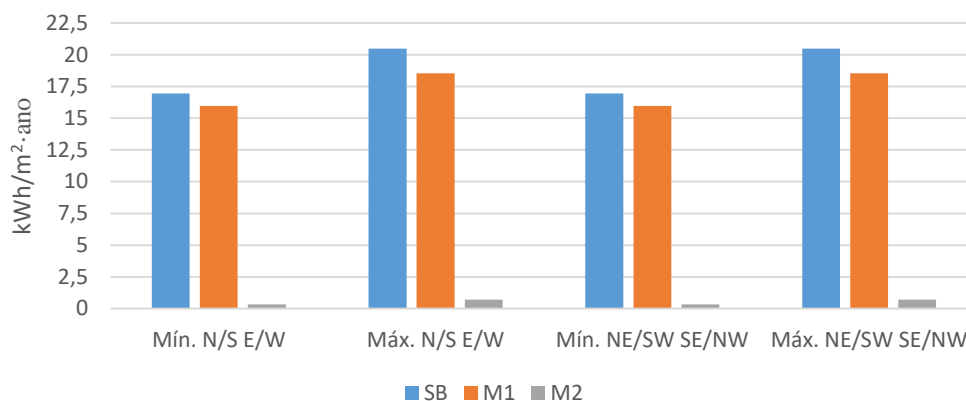


Figura 3.27 - Comparação de necessidades energéticas em período de aquecimento.

Na figura 3.27, para o período de aquecimento é visível que à medida que o isolamento térmico do modelo elementar aumenta, as necessidades energéticas para aquecimento do espaço interior vão diminuindo. Deste modo as maiores necessidades energéticas para o período de aquecimento ocorrem para o conjunto de soluções SB, nesta situação o modelo elementar não tem isolamento térmico nem nas paredes nem na cobertura. As menores necessidades energéticas do modelo elementar ocorrem para o conjunto de soluções M2, para este caso o modelo elementar terá isolamento térmico tanto nas paredes como na cobertura.

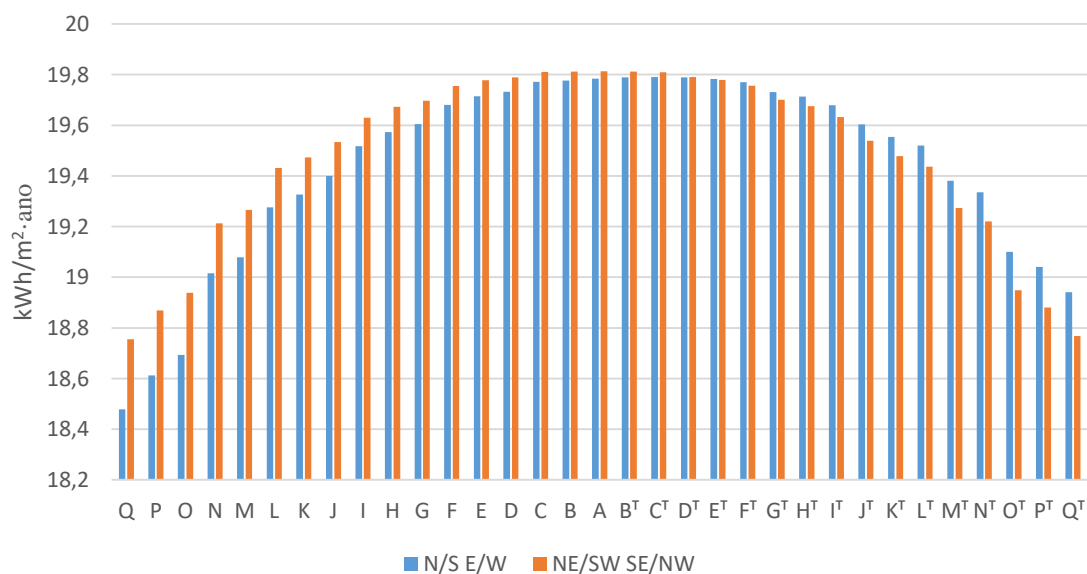


Figura 3.28 - Necessidades energéticas período de arrefecimento, SB.

Para o conjunto de soluções SB, a energia máxima absoluta gasta para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar será de $19,81 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ para a forma geométrica “A”, segundo a orientação NE/SW SE/NW. Para este conjunto de soluções construtivas os menores gastos absolutos com energia para arrefecimento ocorrem para a forma “Q”, segundo a orientação N/S E/W, assumindo o valor de $18,47 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação N/S E/W, teremos um consumo máximo de energia para arrefecimento de $19,79 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ para a forma geométrica “C^T”, existindo portanto neste caso um potencial de poupança energético de $1,32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW, os menores consumos de energia para arrefecimento ocorreram para a forma geométrica “Q”, assumindo o valor de $18,75 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, para esta orientação o potencial máximo de poupança energético será então de $1,06 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

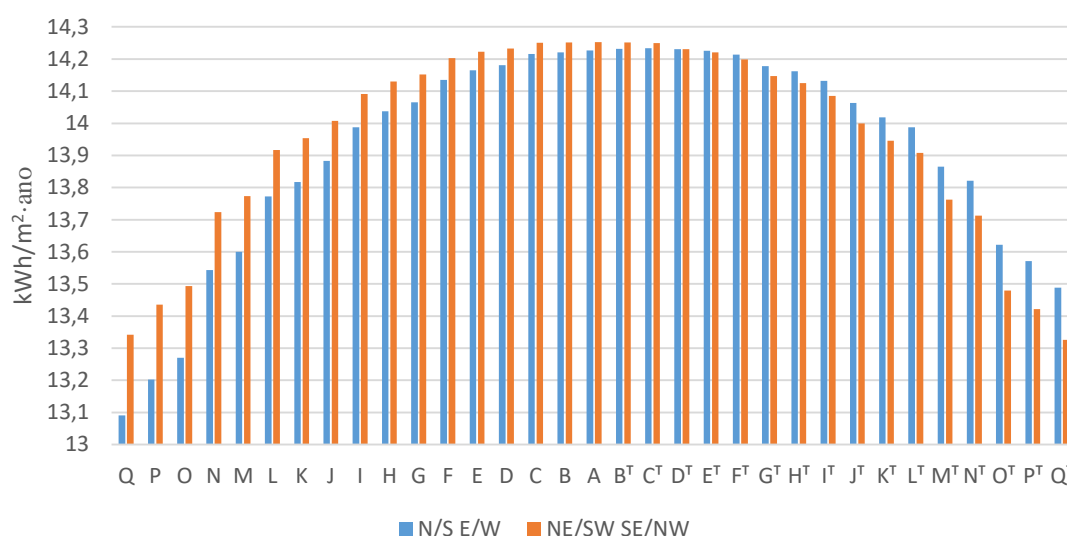


Figura 3.29 - Necessidades energéticas período de arrefecimento, M2.

Para o conjunto de soluções M2, temos que a energia máxima absoluta gasta para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar será de $14,25 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ para a forma geométrica “A”, segundo a orientação NE/SW SE/NW e que os menores consumos absolutos de energia para aquecimento, ocorrem para a forma geométrica “Q”, segundo a orientação N/S E/W assumindo o valor de $13,09 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para aquecimento ocorrem para a forma geométrica “C^T”, assumindo o valor de $14,23 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$. Para esta orientação o potencial máximo de poupança energética será de $1,14 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW, os menores consumos energéticos ocorrem para a forma geométrica “Q^T”, assumindo o valor de $13,32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, sendo que neste caso o potencial máximo de poupança será de $0,93 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Para o período de arrefecimento, nas figuras 3.28 e 3.29 é visível que, o desenvolvimento das curvas representativas das necessidades energéticas do modelo elementar, apresentam um aspeto semelhante ao de uma parábola com concavidade voltada para baixo. Nestas é visível que os maiores consumos de energia em período de arrefecimento se encontram concentrados na zona

central, que corresponde a formas geométricas próximas do quadrado. Os menores consumos com energia para arrefecimento estão situados nas laterias dos gráficos, nestas zonas, o modelo elementar terá uma geometria cada vez mais retangular.

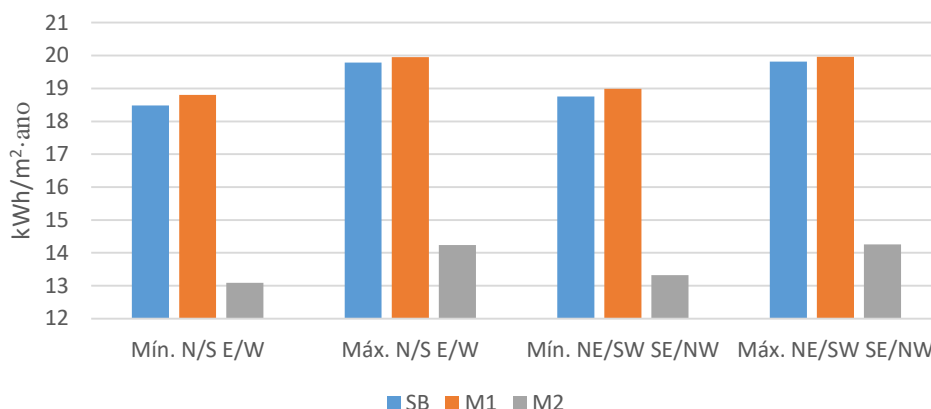


Figura 3.30 - Comparação de necessidades energéticas em período de arrefecimento.

Na figura 3.30, temos para período de arrefecimento um acréscimo de consumos energéticos de SB para M1 e uma diminuição clara de SB para M2. Neste caso embora o conjunto de soluções construtivas M1 apresente relativamente a SB um acréscimo de isolamento térmico nas paredes, os seus consumos energéticos serão maiores, esta situação está relacionada com facto de se registarem temperaturas interiores mais elevadas em M1 comparativamente a SB.

Comparando os gráficos das figuras 3.25 e 3.26, representativos das necessidades energéticas anuais em período de aquecimento com os gráficos das figuras 3.28 e 3.29 representativos das necessidades energéticas anuais em período de arrefecimento, uma coisa fica clara, o desenvolvimento das suas curvas é contrário. Deste modo temos que as geometrias que apresentam um melhor desempenho energético em período de aquecimento, são aquelas que em período de arrefecimento vão apresentar os piores desempenhos e vice-versa.

Em seguida apresentam-se as necessidades energéticas totais anuais para climatização do espaço interior do modelo elementar, estas são o resultado da soma das necessidades energéticas anuais em período de aquecimento com as necessidades energéticas anuais em período de arrefecimento para todas as geometrias analisadas.

Para o conjunto de soluções SB, temos que a energia máxima absoluta gasta para climatização do espaço interior do modelo elementar será de 39,42 kWh/m²·ano, para a forma “Q^T” e que os menores gastos absolutos com energia para climatização ocorrem para a forma “C”, ambos segundo a orientação N/S E/W, assumindo estes o valor de 36,71 kWh/m²·ano. Neste caso tendo em conta o peso das necessidades energéticas dos dois períodos de climatização existe um potencial máximo de poupança energética de 2,71 kWh/m²·ano.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW, os maiores consumos de energia para climatização foram registados para a forma geométrica “Q”, assumindo o valor de 39,16 kWh/m²·ano, já os menores consumos de energia ocorreram para a forma geométrica “A”, assumindo o valor de 36,76 kWh/m²·ano. Nesta orientação verifica-se existir um potencial máximo de poupança energética de 2,4 kWh/m²·ano.

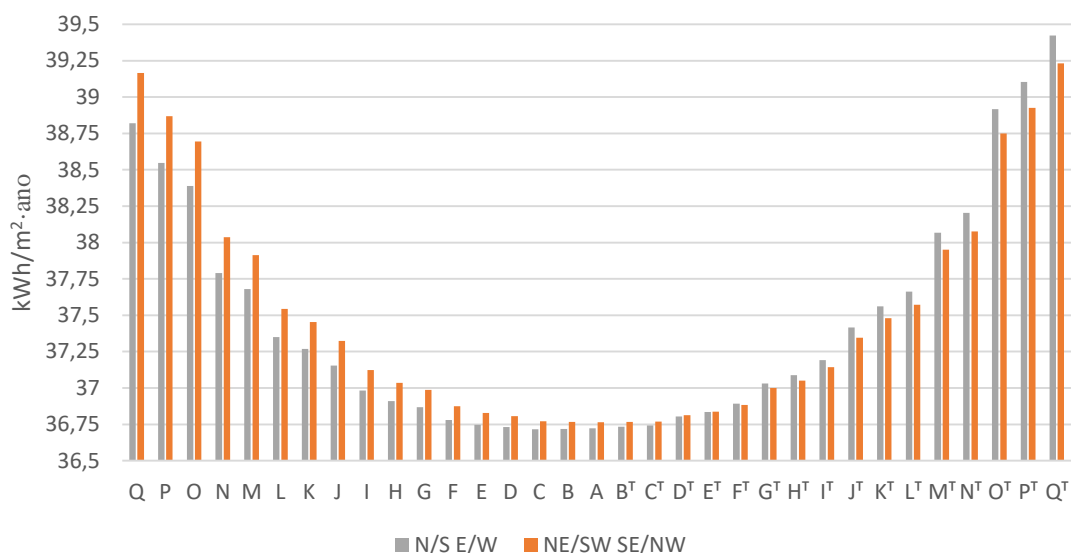


Figura 3.31 - Necessidades energéticas totais para climatização, SB.

Para o conjunto de soluções M2, a energia máxima absoluta necessária para climatização do espaço interior do modelo elementar será de 14,58 kWh/m²·ano para a forma geométrica “A”, segundo a orientação NE/SW SE/NW. Os menores consumos energéticos absolutos para climatização verificaram-se para a forma geométrica “Q”, assumindo o valor de 13,76 kWh/m²·ano.

Segundo a orientação NE/SW SE/NW, as menores necessidades energéticas para climatização do espaço interior foram verificadas para forma “Q^T”, assumindo o valor de 14,01 kWh/m²·ano. Para esta orientação existe um potencial máximo de poupança energética de 0,57 kWh/m²·ano.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para climatização do espaço interior foram verificados para a forma geométrica “D^T”, assumindo o valor 14,55 kWh/m²·ano, existindo portanto um potencial de poupança energética máximo de 0,79 kWh/m²·ano.

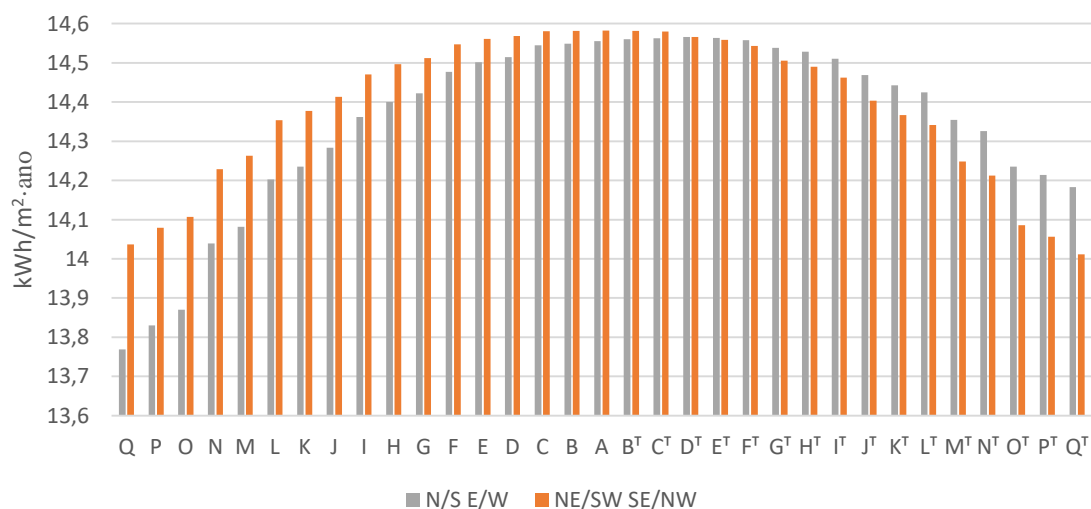


Figura 3.32 - Necessidades energéticas totais para climatização, M2.

Como se pode ver nas figuras 3.31 e 3.32, as necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior do modelo elementar são fortemente influenciadas pelo tipo de soluções construtivas adotadas, verificando-se neste caso que as geometrias que conduzem a menores consumos energéticos totais para um conjunto de soluções, acabam por ser aquelas que para o outro conjunto de soluções, dão origem aos maiores consumos energéticos.

Assim para o conjunto de soluções construtivas SB, as menores necessidades energéticas totais, estão associadas a geometrias próximas do quadrado. Estas aumentam à medida que o modelo elementar vai assumindo geometrias cada vez mais retangulares. Comparando os gráficos das figuras 3.31 e 3.25 é visível que o seu desenvolvimento é semelhante, ambos apresentam um aspeto parabólico com concavidade voltada para cima. Para SB temos então que o período condicionante será o de aquecimento, pois as menores necessidades energéticas totais estão associadas às geometrias em que se registaram os menores consumos em período de aquecimento.

Para o conjunto de soluções M2 verifica-se o contrário, as menores necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior estão associadas aos casos em que o modelo elementar assume geometrias retangulares. Comparando os gráficos das figuras 3.30 e 3.26, é visível que ambos apresentam um desenvolvimento parabólico com concavidade voltada para baixo. Deste modo para M2 tem-se que o período condicionante será o de arrefecimento, pois as menores necessidades energéticas totais estão associadas às geometrias em que se registaram os menores consumos de energia em período de arrefecimento.

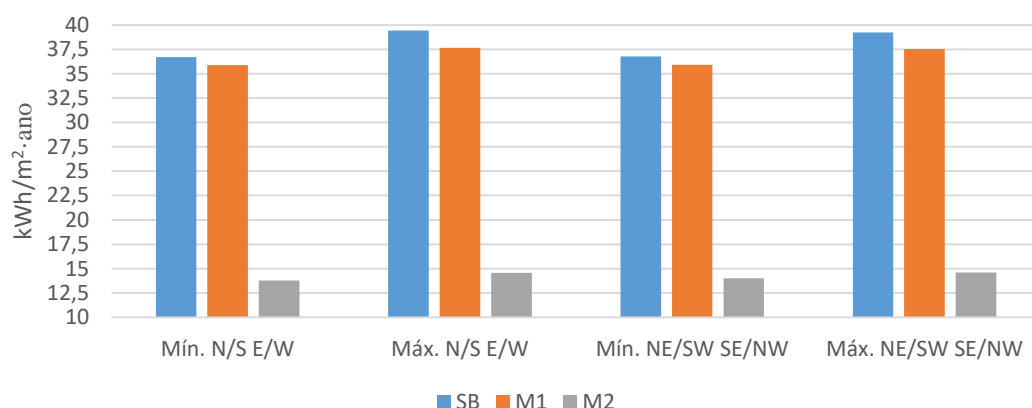


Figura 3.33 - Comparação de necessidades energéticas totais.

Na figura 3.33 é visível que as necessidades energéticas totais para climatização diminuem à medida que se aumenta o isolamento térmico do modelo elementar. Neste caso as menores necessidades energéticas estão associadas ao conjunto de soluções M2, ao passo que as maiores necessidades energéticas estão associadas ao conjunto de soluções construtivas SB.

Tendo em conta todas as simulações realizadas, as menores necessidades energéticas apresentadas pelo modelo elementar foram verificadas sempre segundo a orientação N/S E/W. Tal aconteceu para os casos em que as fachadas de maior relevo do modelo elementar se encontram viradas a Norte e a Sul.

4. MALHA URBANA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.1. Enquadramento

A organização espacial dos vários elementos constituintes de uma cidade condiciona todos os processos inerentes à vida citadina. No espaço urbano deve tanto quanto possível promover-se a fluidez de transporte quer de pessoas quer de bens. A largura e disposição das ruas em cada zona da cidade, deve ser a adequada aos tipos de fluxos que se espera virem a existir. Um bom dimensionamento da largura das ruas acaba por promover a eficiência energética de todos os meios de transporte usados numa cidade. O traçado da rede urbana, para além de condicionar o modo de movimentação das várias massas dentro de uma cidade, condiciona também a geometria dos espaços que nela se inserem. A organização e disposição destes espaços deve ser capaz de dar resposta às necessidades de alojamento dos habitantes, promover o desenvolvimento de atividades económicas e melhorar a qualidade de vida em espaço urbano. Deste modo, dentro de uma cidade teremos diferentes tipos de espaços, que por sua vez terão diferentes tipos de necessidades. Esta situação acaba por fazer com que o espaço urbano seja constituído por variados tipos de edifícios separados entre si por ruas com diferentes larguras. A altura dos edifícios e a sua área em planta dependerá sempre do seu propósito. Deste modo dentro de uma cidade existirão tanto edifícios muito altos como edifícios muito baixos. Cidades com ruas largas e prédios baixos, dão origem a uma maior exposição solar do espaço urbano, enquanto cidades com ruas estreitas e prédios altos, dão origem a situações em que as fachadas dos edifícios que nela se inserem passem mais tempo à sombra. Esta diferença de exposições solares terá importância tanto na sensação de conforto térmico no espaço exterior da cidade, como no espaço interior dos edifícios. Em período de verão as sombras criadas pelos edifícios acabam por servir de abrigo ao sol; estas tornam mais agradável a estadia espaço no espaço exterior. No entanto, o desenho da malha urbana nem sempre ajuda a promover a sensação de conforto térmico no espaço interior dos edifícios, esta situação dá origem a gastos energéticos desnecessários. Para combater este desconforto são utilizados dispositivos de climatização que a si têm associados consumos energéticos que poderiam ser mitigados através de um desenho urbano bem adaptado ao clima local. De fato o comportamento térmico e o desempenho energético de um edifício dependem em grande escala das características da sua envolvente. A existência de elementos exteriores ao edifício que sirvam de barreiras tanto à passagem do sol como do vento, acabam por influenciar as variações de temperatura no seu interior. Sabe-se que edifícios que estejam mais expostos ao sol tendem a apresentar temperaturas interiores mais elevadas do que edifícios que passem mais tempo à sombra. Por outro lado as temperaturas em edifícios mais expostos ao vento tendem a ser inferiores às verificadas em edifícios menos expostos à ação do vento. Numa cidade estas barreiras acabam por ser os próprios edifícios. A definição do espaçamento e da altura destas barreiras pode conduzir a maiores ou menores exposições de toda a massa edificada aos elementos exteriores. Consoante o tipo de clima e tendo em conta o tipo de construções existentes ou que se espera virem a existir, poderá então ser vantajoso do ponto de vista da eficiência energética, promover uma das duas situações anteriormente descritas. Neste contexto o planeamento urbano assume o papel principal, podendo definir tanto uma largura de rua como uma altura máxima da massa edificada que promova uma maior ou menor

exposição dos edifícios individuais aos elementos exteriores. O planeamento urbano pode então ser encarado como o primeiro passo para a promoção da eficiência energética. A atuação do planeamento sobre os vários elementos individuais constituintes de uma cidade, acaba por fortalecer a gestão energética global.

4.2. Proposta de estudo

Tendo em conta o que foi descrito anteriormente, torna-se então interessante verificar de que modo a envolvente exterior de um elemento afeta o seu comportamento térmico.

No presente capítulo far-se-á a análise do desempenho energético de um modelo elementar inserido dentro uma malha urbana. Neste caso, mais uma vez, o modelo elementar terá algumas das características de um edifício de habitação. Contudo o objetivo não passa por determinar os consumos efetivos de um edifício específico, mas sim em determinar uma tendência de comportamento energético. Esta tendência de comportamento será útil na determinação de uma forma de malha urbana que potencie a eficiência energética dos edifícios que a constituem.

Neste contexto estudar-se-á de que modo a largura das ruas e altura dos edifícios envolventes afeta a eficiência energética de um elemento.

Para além de estudar os efeitos produzidos por diferentes envolventes no desempenho energético de um elemento, será também útil verificar se existe uma orientação da malha urbana que promova a sua eficiência energética.

4.3. Considerações gerais

Para poder determinar qual o efeito que diferentes envolventes produzem no desempenho energético de um elemento, optou-se então por colocar o modelo elementar já descrito no capítulo anterior dentro de uma malha urbana.

As características do modelo elementar foram neste caso mantidas, sendo portanto válidas todas as considerações feitas no capítulo anterior relativas à sua localização e clima, área em planta, volume, geração interna de calor e horários de ocupação do espaço interior.

Neste caso optou-se apenas por analisar o desempenho energético do modelo elementar para o grupo de soluções construtivas SB e M2.

Tendo mantido todos os pressupostos já descritos, partir-se-á então da mesma base de simulação utilizada no capítulo anterior. No entanto em torno do modelo elementar foram inseridos novos elementos que funcionarão como barreiras à passagem direta quer do sol, quer do vento. Estes novos elementos serão representativos da existência de edifícios colocados na malha urbana, em torno do modelo elementar base.

A colocação destes novos elementos irá alterar as necessidades energéticas do modelo elementar, pois passamos de uma situação em que este está completamente exposto ao sol e ao vento, para uma situação em que existem obstáculos à passagem destes.

No presente estudo optou-se apenas por estudar o desempenho energético de duas geometrias do modelo elementar, tidas como sendo representativas dos casos em que se registaram as menores necessidades energéticas globais para climatização do espaço interior do modelo elementar, tendo em conta os conjuntos de soluções construtivas analisados. Para o conjunto de soluções construtivas SB os menores consumos globais foram registados para geometrias próximas do quadrado, enquanto para M2 os menores consumos de energia foram registados para formas mais retangulares. Assim a primeira geometria analisada será a correspondente ao caso em que o modelo elementar assume a forma de um quadrado de 30m de largura, por 30m de comprimento. A segunda geometria analisada será a correspondente ao caso em que o modelo elementar assume uma forma retangular com 60m de largura, por 15m de comprimento.

4.4. Forma e orientação da malha urbana

As necessidades energéticas do modelo elementar foram determinadas partindo do pressuposto que este se encontra inserido numa malha urbana ortogonal. Considerou-se que a geometria de todos os edifícios inseridos na malha em estudo seria igual à assumida pelo modelo elementar. Assim sendo quando o modelo elementar assume a forma de um quadrado com 30m de largura por 30m de comprimento, todos os edifícios que o envolvem apresentam também a mesma geometria, fazendo com que neste caso a malha assumira um aspeto ortogonal quadrado. Quando o modelo elementar assume uma forma retangular com 60m de largura por 15m de comprimento, todos os edifícios que o circundam apresentam também a mesma geometria, fazendo com que neste caso a malha assumira um aspeto ortogonal retangular. Estas duas situações encontra-se representadas na figura 4.1.

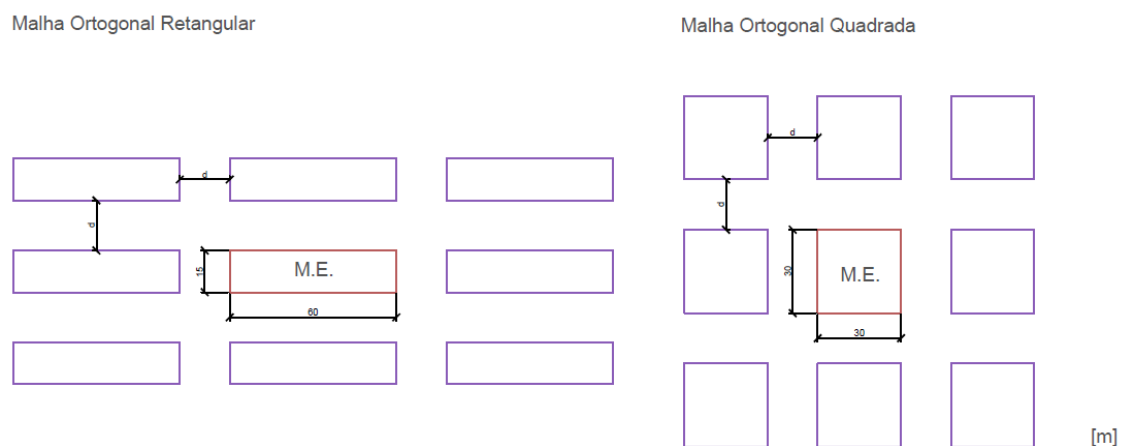


Figura 4.1 - Planta das malhas urbanas analisadas.

Relativamente à largura das ruas foram consideradas seis situações distintas que se apresentam na tabela 4.1. Estas larguras correspondem no fundo ao afastamento existente entre todos os edifícios da malha urbana.

Tabela 4.1 – Larguras de rua analisadas.

Largura de ruas do espaço urbano / Afastamento entre edifícios						
d (m)	3	6	9	12	15	18

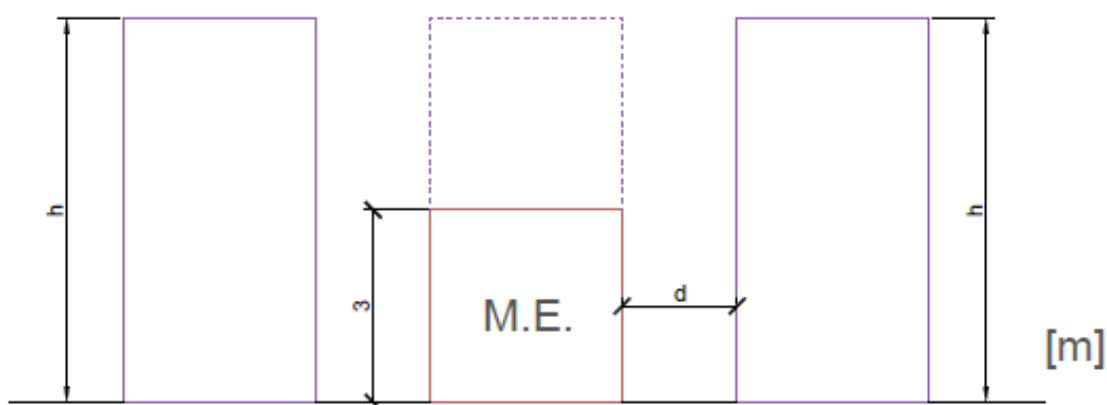


Figura 4.2 – Alçado representativo das duas malhas urbanas analisadas.

No presente estudo considerou-se que a altura do modelo elementar seria de 3m. Esta manteve-se constante ao longo de todas as simulações, garantindo deste modo que o volume do espaço interior do modelo elementar será sempre o mesmo. No entanto para os restantes edifícios existentes na malha foram consideradas 6 variações de altura distintas. Esta situação encontra-se representada na figura 4.2. As alturas consideradas para a massa edificada encontram-se expostas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Altura dos edifícios existentes em torno do modelo elementar.

Altura da massa edificada						
h (m)	3	6	9	12	15	18

No presente estudo cumpriu-se o artigo 59.º do REGEU, que no fundo define que a altura máxima dos edifícios não pode ser superior à largura da rua onde estes se inserem. Deste modo, nas simulações feitas, em nenhum dos casos a altura dos edifícios envolventes ao modelo elementar, foi superior à distância que os separa. As combinações de malha analisadas encontram-se expostas na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Combinações de larguras de ruas com diferentes alturas da massa edificada.

(h) Altura (d) Largura	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m	18 m
3 m	✓	✗	✗	✗	✗	✗
6 m	✓	✓	✗	✗	✗	✗
9 m	✓	✓	✓	✗	✗	✗
12 m	✓	✓	✓	✓	✗	✗
15 m	✓	✓	✓	✓	✓	✗
18 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Relativamente ao estudo das necessidades energéticas do modelo elementar inserido numa malha urbana ortogonal quadrada, apenas foi necessário estudar o seu desempenho energético segundo duas orientações distintas. Esta situação decorre da própria simetria da malha. Deste modo teremos apenas consumos diferentes consoante a malha esteja disposta segundo a orientação N/S E/W ou segundo a orientação NE/SW NW/SE. Esta situação encontra-se exposta na figura 4.3.

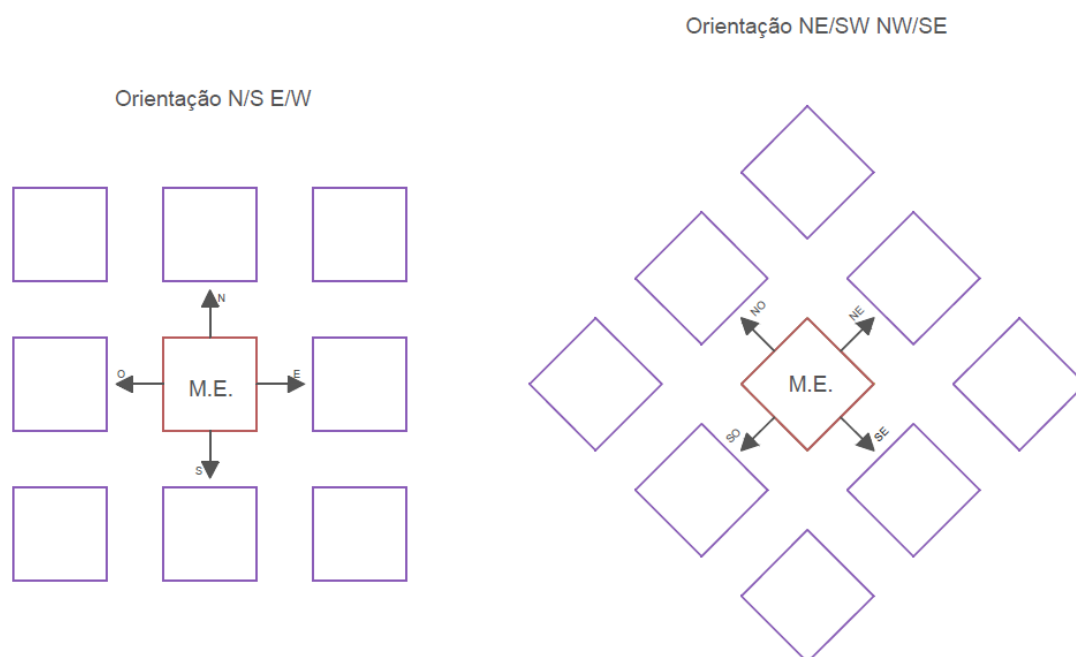


Figura 4.3 – Denominação das orientações da malha ortogonal quadrada.

Para a malha ortogonal retangular, foi necessário determinar o desempenho energético do modelo elementar para quatro orientações distintas.

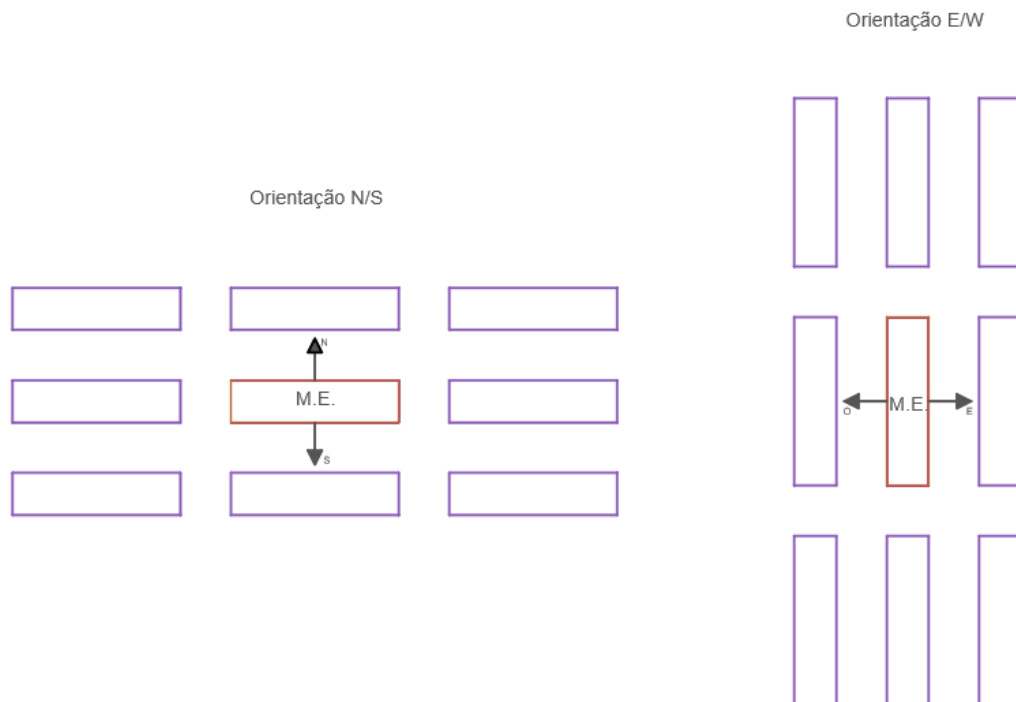


Figura 4.4 - Denominação do primeiro grupo de orientações da malha ortogonal retangular.

As duas primeiras orientações estudadas para a malha retangular serão denominadas por N/S e E/W. Para a orientação N/S o modelo elementar terá mais área de fachada virada a Norte e Sul. Para a orientação E/W acontece o contrário, o modelo elementar terá as fachadas de menor relevo viradas a Norte e sul, ao passo que as fachadas com maior área se encontram viradas a Este e Oeste. Esta situação encontra-se exposta na figura 4.4.

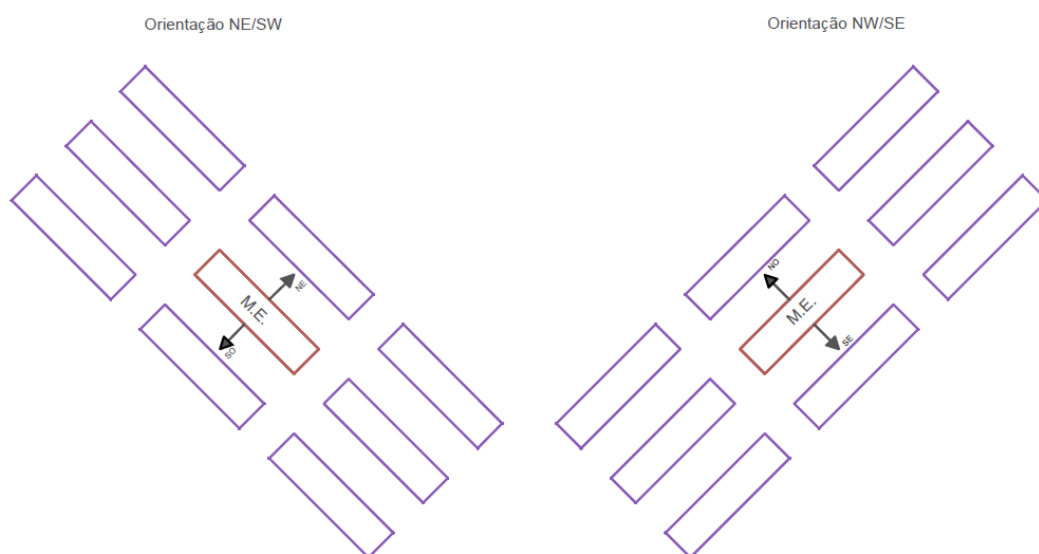


Figura 4.5 - Denominação do segundo grupo de orientações da malha ortogonal retangular.

As restantes orientações estudadas para a malha urbana ortogonal retangular serão denominadas por, NE/SW e NW/SE. Para a orientação NE/SW o modelo elementar terá as duas fachadas de maior relevo viradas a Nordeste e a Sudoeste. Para a orientação NW/SE o modelo elementar terá as duas fachadas de maior área viradas a Noroeste e a Sudeste. Esta situação encontra-se ilustrada na figura 4.5.

4.5. Análise e discussão de resultados

Os dados que se apresentam de seguida são resultado de várias simulações feitas com recurso ao software informático EnergyPlus. Para facilitar a sua exposição foram compilados sobre a forma gráfica.

Devido ao elevado número de simulações efetuadas, quer de variação de largura das ruas da malha, quer de variação de altura dos edifícios que a constituem, foram escolhidas apenas algumas situações que se consideraram ser representativas do comportamento geral apresentado pelo modelo elementar que se apresentam em seguida. Os resultados relativos às restantes simulações seguem em anexo.

4.5.1. Malha ortogonal quadrada

No presente subcapítulo encontram-se expostas as necessidades energéticas anuais do modelo elementar inserido em malha ortogonal quadrada. As necessidades energéticas anuais para o período de aquecimento foram determinadas partindo do princípio que a unidade de climatização entraria em funcionamento sempre que a temperatura do espaço interior do modelo elementar fosse inferior a 18°C. As necessidades energéticas anuais para o período de arrefecimento foram determinadas partindo do princípio que a unidade de climatização entraria em funcionamento sempre que a temperatura do espaço interior do modelo elementar fosse superior a 25°C. As necessidades energéticas totais para climatização são, neste caso, o resultado da soma das necessidades energéticas resultantes dos dois períodos de climatização anteriormente descritos.

Na figura 4.6 temos que para o conjunto de soluções construtivas SB, quando a largura das ruas da malha é igual à altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, os menores consumos absolutos de energia para aquecimento do espaço interior serão de 17,13kWh/m²·ano para uma largura/altura de 3m segundo a orientação N/S E/W. Os maiores gastos absolutos de energia para aquecimento verificar-se-ão neste caso para uma largura/altura de 18m, assumindo o valor de 18,33kWh/m²·ano para a orientação NE/SW NW/SE.

Para a orientação N/S E/W, as maiores necessidades energéticas para aquecimento do espaço interior do modelo elementar serão de 18,23kWh/m²·ano. Segundo esta orientação existe um potencial máximo de poupança energética em período de aquecimento de 1,09kWh/m²·ano.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas para o período de aquecimento serão de 17,14 kWh/m²·ano, existindo então neste caso um potencial máximo de poupança energética de 1,19kWh/m²·ano.

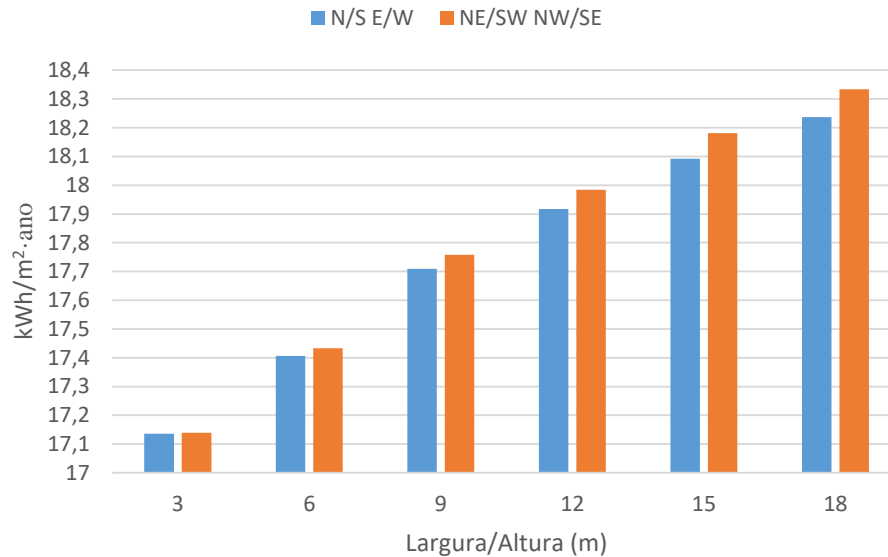


Figura 4.6 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, d=h, SB.

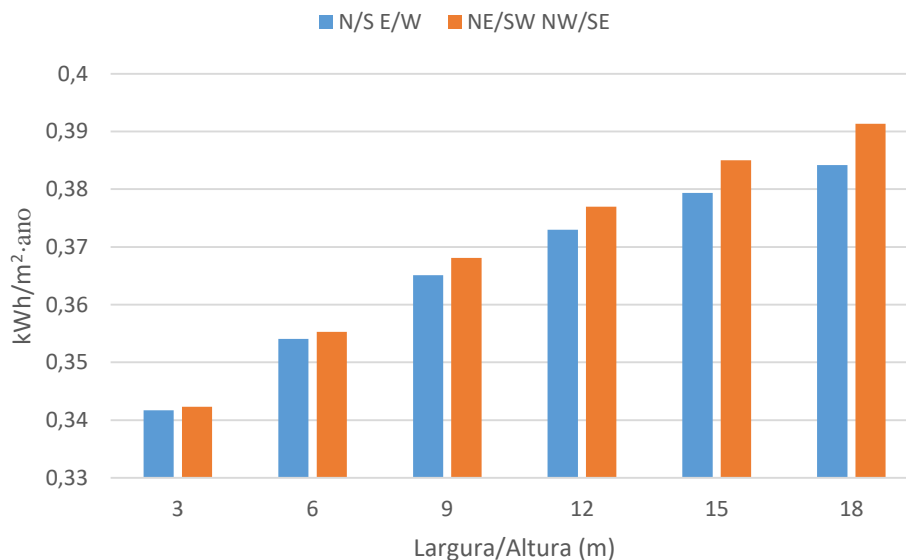


Figura 4.7 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, d=h, M2.

Na figura 4.7 temos que, para o conjunto de soluções construtivas M2, quando a altura dos edifícios que circundam o modelo elementar é igual à largura das ruas da malha urbana, os maiores consumos absolutos de energia para aquecimento do espaço interior serão de 0,391kWh/m²·ano, segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma

largura/altura de 18m. As menores necessidades energéticas absolutas para aquecimento ocorrem neste caso para uma largura/altura de 3m, segundo a orientação N/S E/W, assumindo o valor de $0,341\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para aquecimento do espaço interior do modelo elementar serão de $0,384\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,043\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Para a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas para o período de aquecimento serão de $0,342\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, verificando-se existir neste caso um potencial máximo de poupança energética de $0,049\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

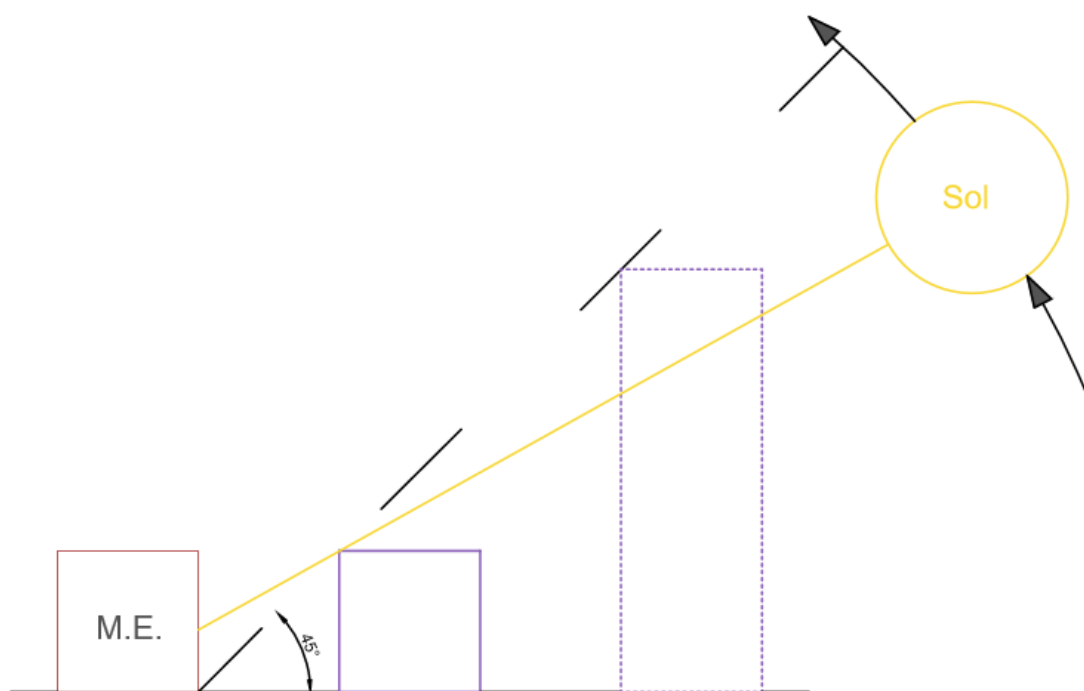


Figura 4.8 – Exposição solar em função da largura das ruas e da altura dos edifícios, $d=h$.

Nos gráficos das figuras 4.6 e 4.7 é visível que, à medida que a largura das ruas e que a altura dos edifícios da malha aumentam, aumentam também as necessidades energéticas do modelo elementar para o período de aquecimento. Tal acontece pois para cada incremento de largura das ruas e de altura dos edifícios a passagem do sol acaba por ficar cada vez mais obstruída. Esta obstrução faz com que o modelo elementar passe cada vez mais tempo à sombra, pois cada incremento acaba por fazer como que o sol comece a atingir cada vez mais tarde o modelo elementar. Esta situação está exposta na figura 4.8. Menores exposições solares conduzem a sucessivas diminuições das temperaturas interiores. Em período de inverno menores temperaturas interiores tendem a diminuir a sensação de conforto térmico no interior dos edifícios. Esta diminuição da sensação de conforto acaba por se traduzir numa maior necessidade de gastar energia para aquecer o espaço interior dos edifícios.

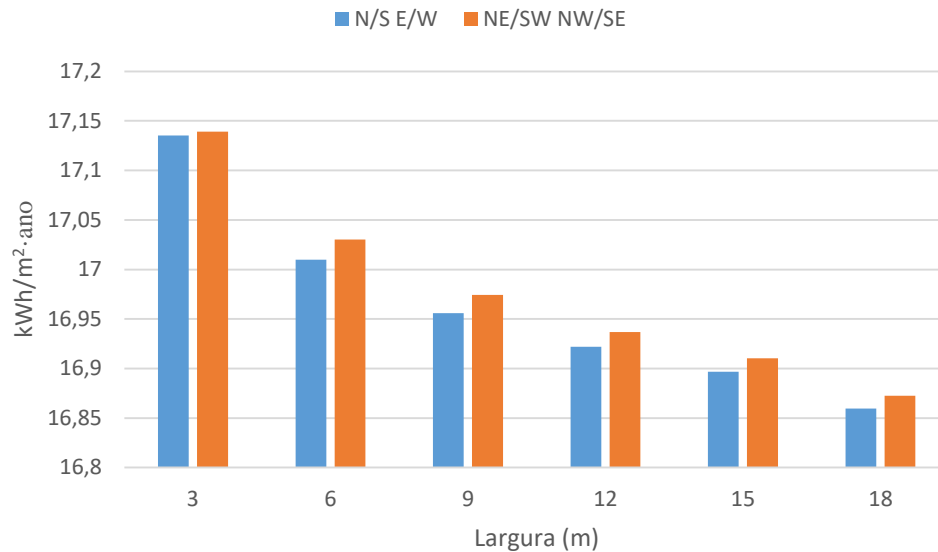


Figura 4.9 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, altura de 3m, SB.

Na figura 4.9 para o conjunto de soluções construtivas SB, mantendo constante e igual a 3m a altura da massa edificada e variando apenas a largura das ruas da malha, temos que os maiores consumos absolutos de energia para aquecimento do espaço interior do modelo assumem o valor de $17,14 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação NE/SW NW/SE para uma largura de rua de 3m. As menores necessidades energéticas absolutas para o período de aquecimento assumem neste caso o valor de $16,85 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma largura de rua de 18m.

Segundo a orientação N/S E/W as maiores necessidades energéticas para aquecimento do espaço interior do modelo elementar serão de $17,13 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, para uma largura de rua de 3m. Para esta orientação verifica-se então existir um potencial máximo de poupança energética em período de aquecimento de $0,28 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE as menores necessidades energéticas anuais para o período de aquecimento serão de $16,87 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, para uma largura de rua de 18m. Verifica-se então que para esta orientação o potencial máximo de poupança energética em período de aquecimento será de $0,27 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Na figura 4.10 para o conjunto de soluções construtivas M2, considerando a altura dos edifícios da malha urbana igual a 3m e variando a largura das ruas que a constituem verifica-se que os menores consumos absolutos de energia para aquecimento do espaço interior do modelo elementar assumem o valor de $0,329 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, para uma largura de ruas de 18m, segundo a orientação N/W E/W. Neste caso os maiores consumos absolutos de energia para aquecimento do espaço interior, ocorrem para uma largura de ruas de 3m, segundo a orientação NE/SW NW/SE, assumindo o valor de $0,342 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação N/S E/W, as maiores necessidades energéticas para aquecimento do espaço interior do modelo elementar serão de $0,341\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,012\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Para a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas para o período de aquecimento serão de $0,331\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, verificando-se existir neste caso um potencial máximo de poupança energética de $0,011\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

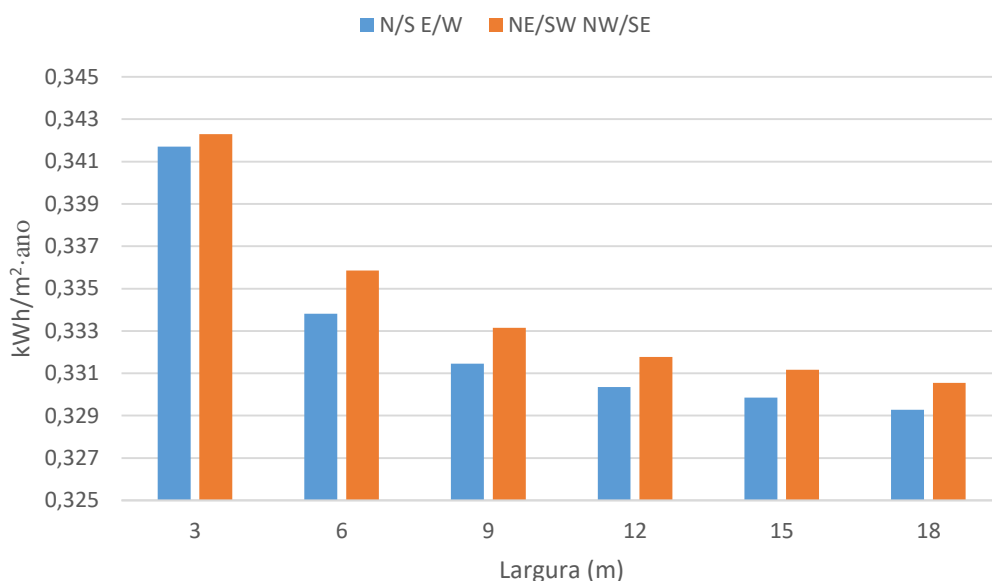


Figura 4.10 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, altura de 3m, M2.

Nas figuras 4.9 e 4.10 é visível que, mantendo fixa a altura da massa edificada mas alargando sucessivamente a largura das ruas da malha urbana, as necessidades energéticas para o período de aquecimento do modelo elementar vão diminuindo. Neste caso o que acontece é que à medida que vamos afastando os edifícios do modelo elementar, este acaba por ficar cada vez mais exposto à radiação solar. Este incremento sucessivo de radiação recebida pelo modelo elementar, traduz-se num aumento das temperaturas que se fazem sentir no seu interior. Para o período de aquecimento, este aumento das temperaturas interiores, acaba por ser um fator que contribui para a melhoria da sensação de conforto térmico. A melhoria da sensação de conforto térmico no interior do modelo elementar, acaba por se traduzir em consumos energéticos cada vez menores, pois neste caso existe uma necessidade cada vez menor de elevar a temperatura que se faz sentir no seu interior.

Na figura 4.11 para o conjunto de soluções construtivas SB, mantendo a largura das ruas da malha constante, igual a 18m, mas variando a altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, os maiores consumos absolutos de energia para aquecimento do espaço interior foram registados para uma altura da massa edificada de 18m, segundo a orientação NE/SW NW/SE, assumindo estes o valor de $18,33\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. As menores necessidades energéticas absolutas registadas para o período de aquecimento foram neste

caso de $16,85\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma altura da massa edificada de 3m.

Segundo a orientação N/S E/W, as maiores necessidades energéticas para aquecimento do espaço interior do modelo elementar foram de $18,23\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Segundo esta orientação verifica-se portanto, existir um potencial máximo de poupança energética em período de aquecimento de $1,38\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas registadas para o período de aquecimento foram de $16,87\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo então neste caso um potencial máximo de poupança energética de $1,46\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

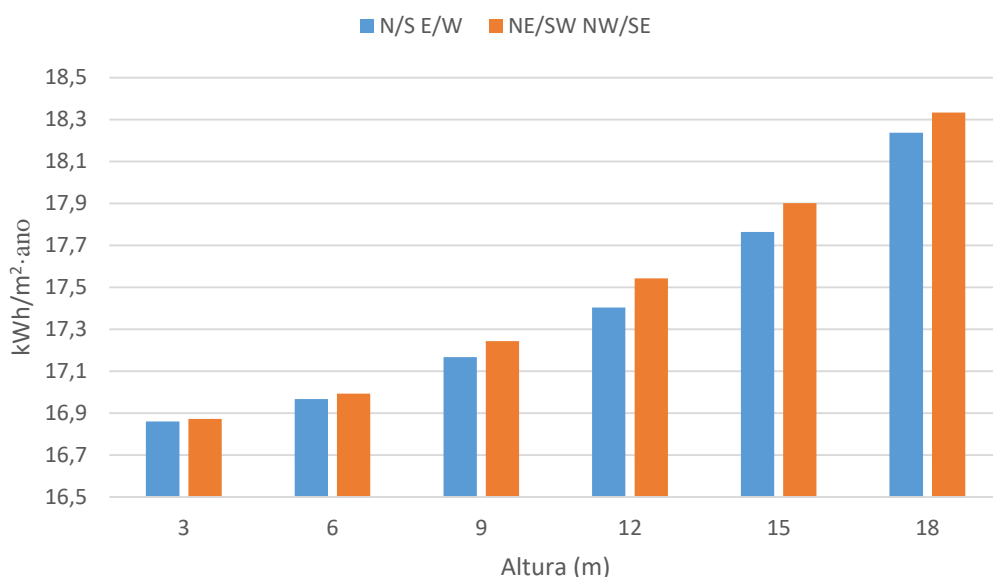


Figura 4.11 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, largura de 18m, SB.

Na figura 4.12 para o conjunto de soluções construtivas M2, constata-se que mantendo a largura das ruas da malha constante e igual a 18m, mas variando a altura dos edifícios que circundam o modelo elementar, as maiores necessidades energéticas absolutas para o período de aquecimento assumem o valor de $0,391\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma altura da massa edificada de 18m. Neste caso as menores necessidades energéticas absolutas para o período de aquecimento assumem o valor de $0,329\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, para uma altura da massa edificada de 3m, segundo a orientação N/S E/W.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para aquecimento do espaço interior do modelo elementar serão de $0,384\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,055\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas para o período de aquecimento serão de $0,331\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, verificando-se portanto existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,06\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

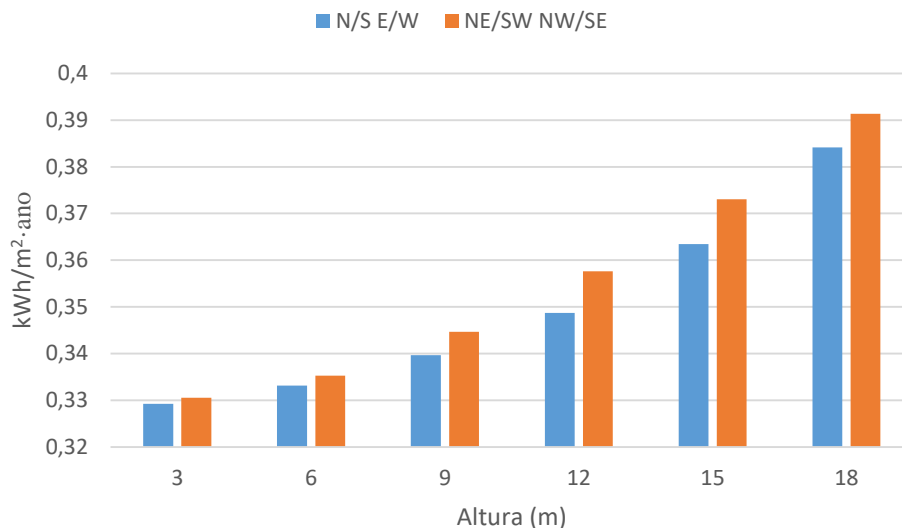


Figura 4.12 - Necessidades energéticas de aquecimento, malha quadrada, largura de 18m, M2.

Nas figuras 4.12 e 4.11 é visível que, fixando a largura das ruas da malha urbana mas fazendo variar a altura dos edifícios que a constituem, as necessidades energéticas anuais para o período de aquecimento do modelo elementar vão aumentando à medida que a altura dos edifícios que o envolvem aumenta. Neste caso o que acontece é que, à medida que a altura dos edifícios da malha aumenta, diminuem os tempos de exposição solar do modelo elementar. De facto à medida que a altura dos edifícios aumenta, a projeção da sua sombra será cada vez maior, dando neste caso origem a que cada acréscimo de altura se traduza num aumento do tempo que o modelo elementar passa à sombra. Este aumento do tempo que o modelo elementar passa à sombra traduz-se numa diminuição das temperaturas verificadas no seu interior. Em período de aquecimento esta situação é desfavorável do ponto de vista da manutenção da sensação de conforto térmico no seu interior. Esta possível degradação da sensação de conforto térmico traduz-se numa maior necessidade de gastar energia para climatizar o espaço interior.

Na figura 4.13 para o conjunto de soluções construtivas SB, nos casos em que a largura das ruas da malha urbana é igual à altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, as menores necessidades energéticas absolutas registadas em período de arrefecimento, foram de $18,61 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma largura/altura de 18m. Neste caso as maiores necessidades energéticas absolutas para o período de arrefecimento foram verificadas segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma largura/altura de 3m, assumindo o valor de $19,54 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar foram de $19,51 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$. Segundo esta orientação existe um potencial máximo de poupança energética em período de arrefecimento de $0,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, os menores consumos energéticos registados em período de arrefecimento foram de $18,86 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, existindo então segundo esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,68 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

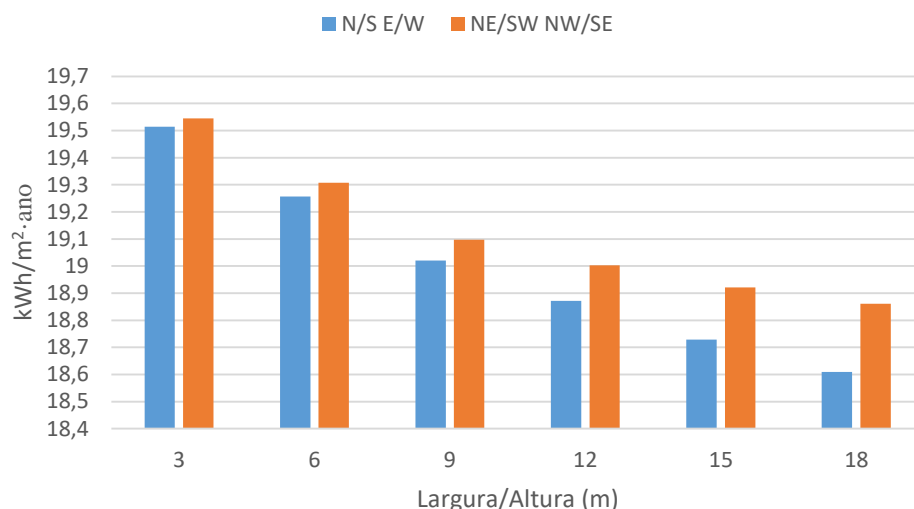


Figura 4.13 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, d=h, SB.

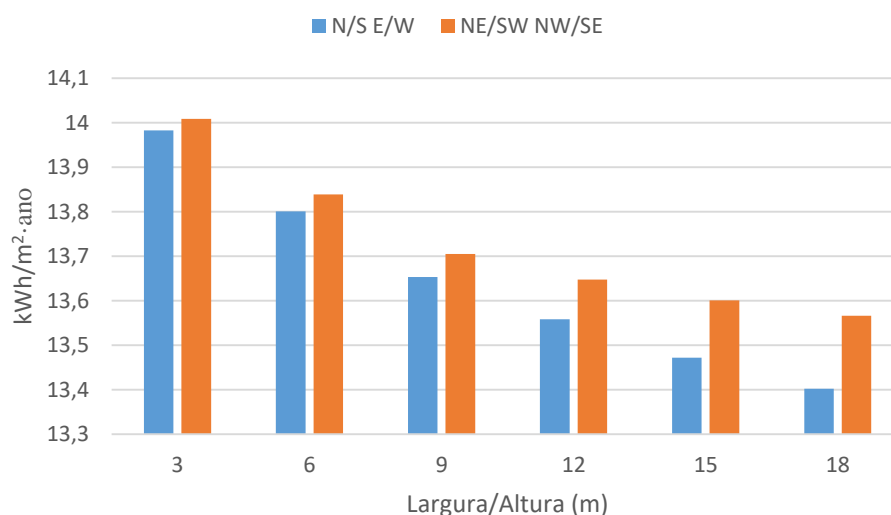


Figura 4.14 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, d=h, M2.

No figura 4.14 para o conjunto de soluções construtivas M2, nos casos em que a altura dos edifícios que circundam o modelo elementar é igual à largura das ruas da malha urbana, os maiores consumos absolutos de energia para arrefecimento do espaço interior serão de $14,01 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma largura/altura de 3m. As menores necessidades energéticas absolutas para arrefecimento do espaço interior ocorrem neste caso para uma largura/altura de 18m, segundo a orientação N/S E/W, assumindo o valor de $13,40 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar serão de $13,98 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, existindo portanto, para esta orientação, um potencial máximo de poupança energética de $0,58 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Para a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas para o período de arrefecimento, serão de $13,57\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, verificando-se existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,44\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

As figuras 4.13 e 4.14 mostram que, à medida que a largura das ruas e altura dos edifícios da malha aumentam, diminuem as necessidades energéticas do modelo elementar para o período de arrefecimento. Verifica-se que cada aumento de altura da massa edificada e de largura das ruas da malha, conduz a situações em o modelo elementar acaba por estar cada vez menos exposto à radiação solar. Menos radiação solar acaba por fazer com as temperaturas sentidas no seu interior sejam gradualmente menores. Em período de arrefecimento esta diminuição de temperaturas acaba por ser um fator que contribui para a manutenção da sensação de conforto térmico no interior dos edifícios. A promoção da sensação de conforto acaba por tornar cada vez menos necessário utilizar dispositivos de climatização para arrefecer ar no interior do modelo, gastando-se deste modo cada vez menos energia.

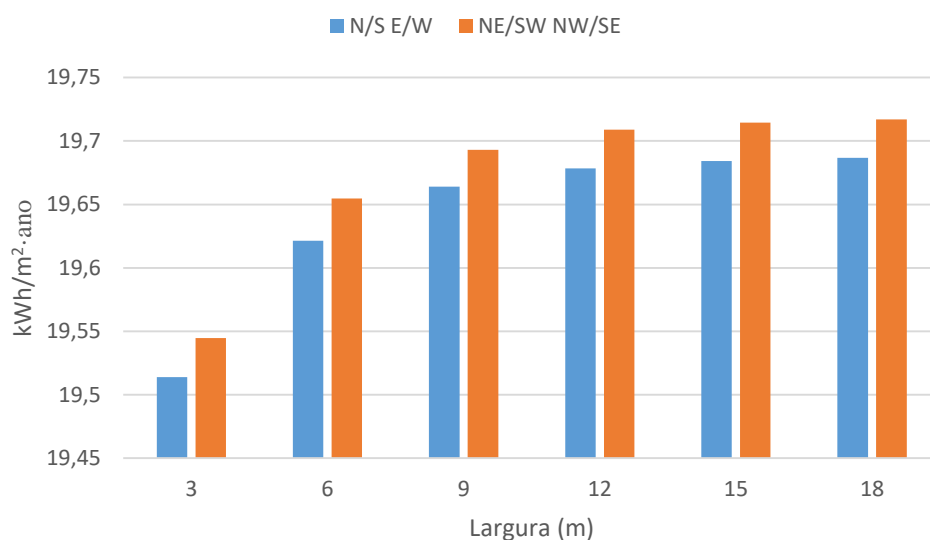


Figura 4.15 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, altura de 3m, SB.

Na figura 4.15 para o conjunto de soluções construtivas SB, considerando a altura dos edifícios da malha urbana igual a 3m e variando a largura das ruas que a constituem, os menores consumos absolutos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar assumem o valor de $19,51\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma largura das ruas da malha de 3m. Neste caso as maiores necessidades energéticas absolutas para o período de arrefecimento assumem o valor de $19,72\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, para uma largura das ruas da malha de 18m, segundo a orientação NE/SW NW/SE.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar serão de $19,68\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,17\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas para o período de arrefecimento serão de $19,54\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, verificando-se portanto existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,18\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Na figura 4.16 para o conjunto de soluções construtivas M2, variando a largura das ruas da malha urbana, mas mantendo constante e igual a 3m a altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, os maiores consumos absolutos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar foram registados para uma largura de ruas de 18m, segundo a orientação NE/SW NW/SE, assumindo estes o valor de $14,23\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. As menores necessidades energéticas absolutas registadas para o período de arrefecimento foram neste caso de $13,98\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma largura de ruas de 3m.

Segundo a orientação N/S E/W, as maiores necessidades energéticas para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar foram de $14,20\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Segundo esta orientação verifica-se portanto existir um potencial máximo de poupança energética em período de arrefecimento de $0,22\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas registadas para o período de arrefecimento foram de $14,01\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo então neste caso um potencial máximo de poupança energética de $0,22\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

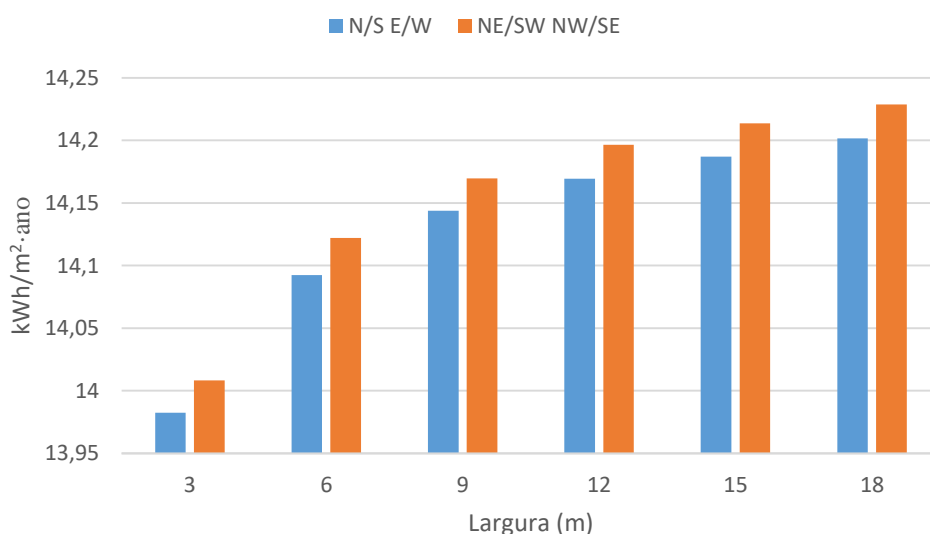


Figura 4.16 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, altura de 3m, M2.

Nas figuras 4.15 e 4.16 é visível que mantendo fixa a altura da massa edificada, os consumos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar vão aumentando à medida que as ruas se tornam cada vez mais largas. Esta situação ocorre porque o tamanho máximo e mínimo das sombras geradas pelos edifícios envolventes será sempre o mesmo. Logo à medida que os vamos afastando através do alargamento das ruas, teremos cada vez menos sombra a tapar o modelo elementar. Esta situação faz

com que o modelo elementar esteja cada vez mais exposto à radiação solar. Em período de arrefecimento este aumento de exposição solar é negativo, logo tende a aumentar as temperaturas que se fazem sentir no seu espaço interior. Temperaturas interiores cada vez mais elevadas em período de Verão acabam por não contribuir para a manutenção da sensação de conforto térmico. Deste modo, para impedir a deterioração da sensação de conforto, será neste caso necessário gastar cada vez mais energia para arrefecer o seu espaço interior.

Na figura 4.17 para o conjunto de soluções construtivas SB, mantendo a largura das ruas da malha constante e igual a 18m, mas variando a altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, os maiores consumos absolutos de energia para arrefecimento do espaço interior foram registados para uma altura da massa edificada de 3m, segundo a orientação NE/SW NW/SE, assumindo o valor de $19,72\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. As menores necessidades energéticas absolutas registadas para o período de arrefecimento foram neste caso de $18,61\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma altura da massa edificada de 18m.

Segundo a orientação N/S E/W, as maiores necessidades energéticas para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar foram de $19,69\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Segundo esta orientação verifica-se portanto existir um potencial máximo de poupança energética em período de arrefecimento de $1,08\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas registadas para o período de arrefecimento foram de $18,86\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo então neste caso um potencial máximo de poupança energética de $0,86\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

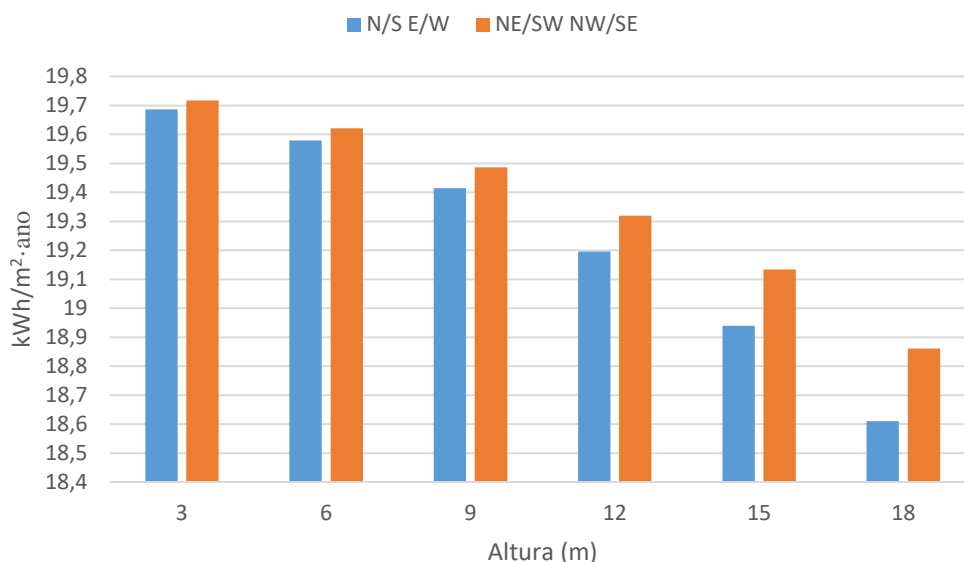


Figura 4.17 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, largura de 18m, SB.

Na figura 4.18 para o conjunto de soluções construtivas M2, temos que mantendo a largura das ruas da malha constante e igual a 18m, mas variando a altura dos edifícios que

circundam o modelo elementar, as maiores necessidades energéticas absolutas registadas para o período de arrefecimento assumiram o valor de $14,23\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma altura da massa edificada de 3m. Neste caso as menores necessidades energéticas absolutas para o período de arrefecimento assumiram o valor de $13,40\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, para uma altura da massa edificada de 18m, segundo a orientação N/S E/W.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar foram de $14,20\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,80\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas registadas para o período de arrefecimento foram de $13,57\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, verificando-se portanto existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,66\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

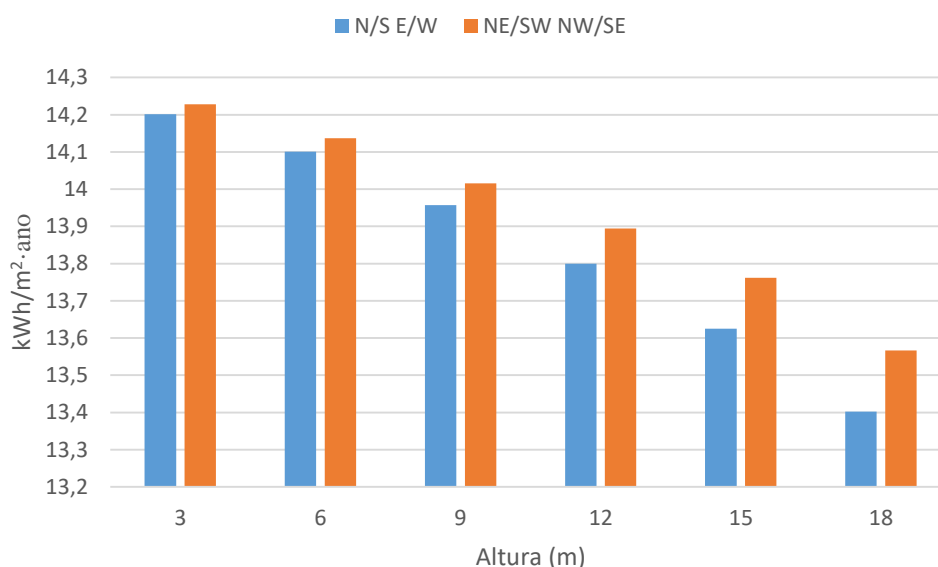


Figura 4.18 - Necessidades energéticas de arrefecimento, malha quadrada, largura de 18m, M2.

As figuras 4.17 e 4.18 mostram que fixando a largura das ruas da malha urbana mas fazendo variar a altura dos edifícios que a constituem, as necessidades energéticas para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar vão diminuindo à medida que a altura dos edifícios aumenta. Constata-se que esta situação ocorre em edifícios cada vez mais altos que, por sua vez, produzem sombras cada vez maiores. Mantendo a largura da rua, verifica-se que sombras progressivamente maiores, passam a tapar mais cedo e durante mais tempo o modelo elementar. Esta diminuição progressiva de exposição solar, no Verão, acaba por ser positiva, na medida em que tende a gerar temperaturas interiores cada vez mais baixas. Do ponto de vista da manutenção da sensação de conforto térmico em período de arrefecimento no espaço interior do modelo elementar, temperaturas cada

vez mais baixas, traduzem-se em consumos energéticos para climatização cada vez mais reduzidos.

Comparando os gráficos das figuras 4.6 a 4.12, representativos das necessidades energéticas anuais em período de aquecimento, com os gráficos das figuras 4.13 a 4.18, representativos das necessidades energéticas anuais em período de arrefecimento, torna-se claro que o desenvolvimento das suas curvas é contrário. Assim sendo, verifica-se que as características de malha que originam maiores consumos energéticos em período de aquecimento, são aquelas que em período de arrefecimento dão origem aos menores consumos e vice-versa.

Em seguida apresentam-se as necessidades energéticas totais anuais para climatização do espaço interior do modelo elementar. Estas são o resultado da soma das necessidades energéticas anuais em período de aquecimento, com as necessidades energéticas anuais em período de arrefecimento, apresentadas pelo modelo elementar para as diferentes características dadas à malha ortogonal quadrada analisada.

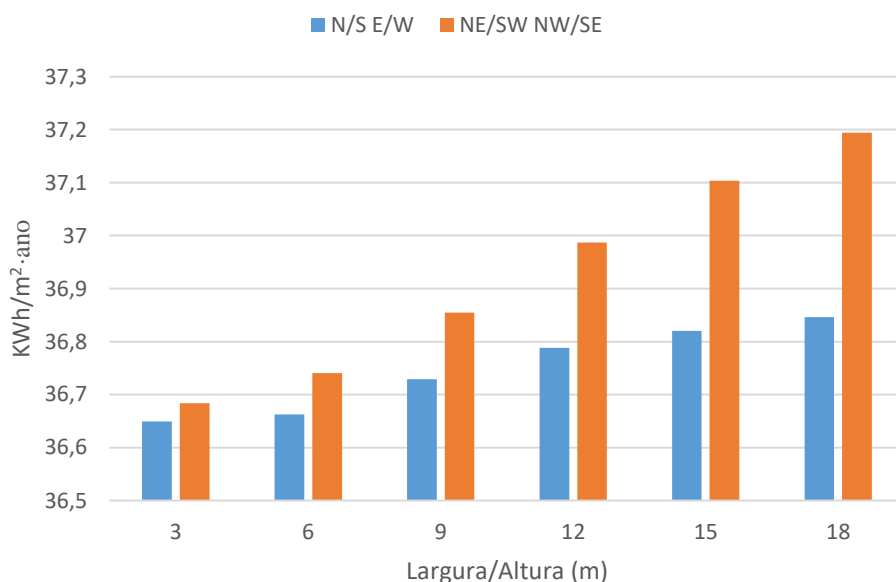


Figura 4.19 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, d=h, SB.

Na figura 4.19 para o conjunto de soluções construtivas SB, para os casos em que a largura das ruas da malha é igual à altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, os menores consumos absolutos de energia para climatização do espaço interior serão de 36,65kWh/m²·ano para uma largura/altura de 3m, segundo a orientação N/S E/W. Os maiores gastos absolutos de energia para climatização verificar-se-ão neste caso para uma largura/altura de 18m, assumindo o valor de 37,19kWh/m²·ano para a orientação NE/SW NW/SE.

Para a orientação N/S E/W, as maiores necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior do modelo elementar serão de 36,85kWh/m²·ano. Segundo esta

orientação tendo em conta a combinação dos dois períodos de climatização, confirma-se existir um potencial máximo de poupança energética de $0,20\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas para climatização do espaço interior do modelo elementar serão de $36,68\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Para esta orientação, tendo em conta as necessidades energéticas apresentadas pelo modelo elementar em período de aquecimento e em período de arrefecimento, constata-se que existe um potencial máximo de poupança energética de $0,51\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Na figura 4.20 para o conjunto de soluções construtivas M2, nos casos em que a largura das ruas da malha urbana é igual à altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, as menores necessidades energéticas absolutas para climatização do espaço interior do modelo assumiram o valor de $13,79\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma largura/altura de 18m. Neste caso as maiores necessidades energéticas absolutas para climatização, foram verificadas segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma largura/altura de 3m, assumindo o valor de $14,35\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar foram de $14,32\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Segundo esta orientação existe um potencial máximo de poupança energética total de $0,53\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, os menores consumos energéticos registados para climatização do espaço interior do modelo elementar assumiram o valor de $13,96\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo então segundo esta orientação um potencial máximo de poupança energética total de $0,39\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

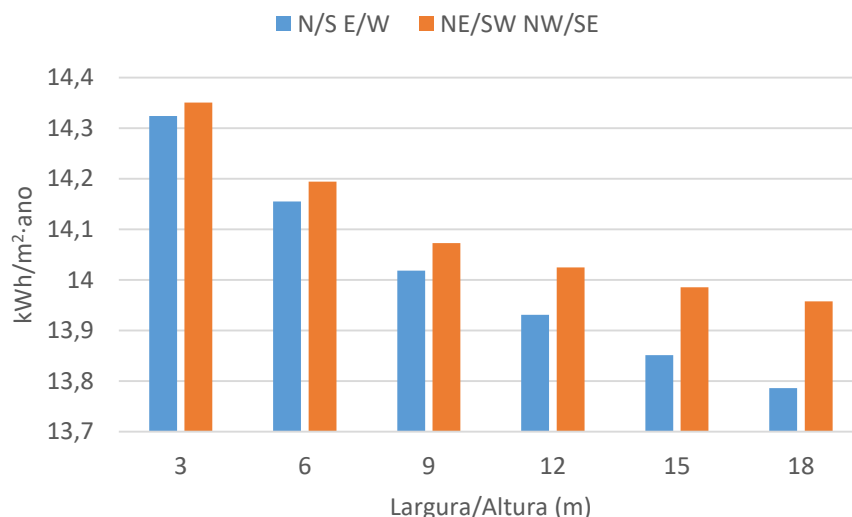


Figura 4.20 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, $d=h$, M2.

Comparando o desenvolvimento da figura 4.19 com o da figura 4.20, é visível que as necessidades energéticas totais para climatização dependem bastante do tipo de soluções

construtivas escolhidas para o modelo elementar. Neste caso para o conjunto de soluções construtivas SB, quando a largura das ruas da malha é igual à altura dos edifícios que a constituem, as necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior do modelo elementar aumentam à medida que os edifícios da malha crescem em tamanho e se vão afastando do modelo. Para o conjunto de soluções construtivas M2 acontece exatamente o contrário, as necessidades energéticas apresentadas pelo modelo elementar decrescem neste caso à medida que a altura e afastamento da massa edificada aumentam.

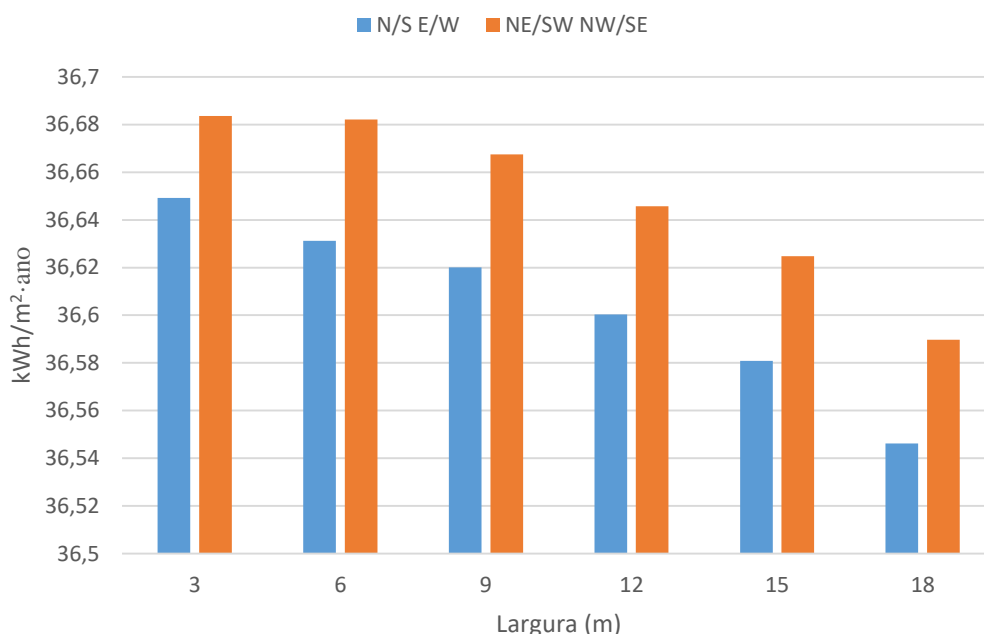


Figura 4.21 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, altura 3m, SB.

Na figura 4.21 para o conjunto de soluções construtivas SB, considerando a altura dos edifícios da malha urbana igual a 3m e variando a largura das ruas que a constituem temos que os menores consumos absolutos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar assumem o valor de $36,55 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma largura das ruas da malha de 18m. Neste caso, as maiores necessidades energéticas absolutas para climatização assumem o valor de $36,68 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, para uma largura das ruas da malha de 3m, segundo a orientação NE/SW NW/SE.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar serão de $36,65 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas totais para climatização serão de $36,59 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, verificando-se existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,09 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Na figura 4.22 para o conjunto de soluções construtivas M2, variando a largura das ruas da malha urbana, mas mantendo constante e igual a 3m a altura dos edifícios que

envolvem o modelo elementar, os maiores consumos absolutos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar foram registados para uma largura de ruas de 18m, segundo a orientação NE/SW NW/SE, assumindo o valor de $14,56\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. As menores necessidades energéticas absolutas registadas para climatização do modelo elementar, assumiram neste caso o valor de $14,32\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação N/S E/W, para uma largura de ruas de 3m.

Segundo a orientação N/S E/W, as maiores necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior do modelo elementar foram de $14,53\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Segundo esta orientação tendo em conta as necessidades energéticas dos dois períodos de climatização, verifica-se existir um potencial máximo de poupança energética de $0,21\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas totais para climatização assumiram o valor de $14,35\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo então neste caso um potencial máximo de poupança energética de $0,21\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

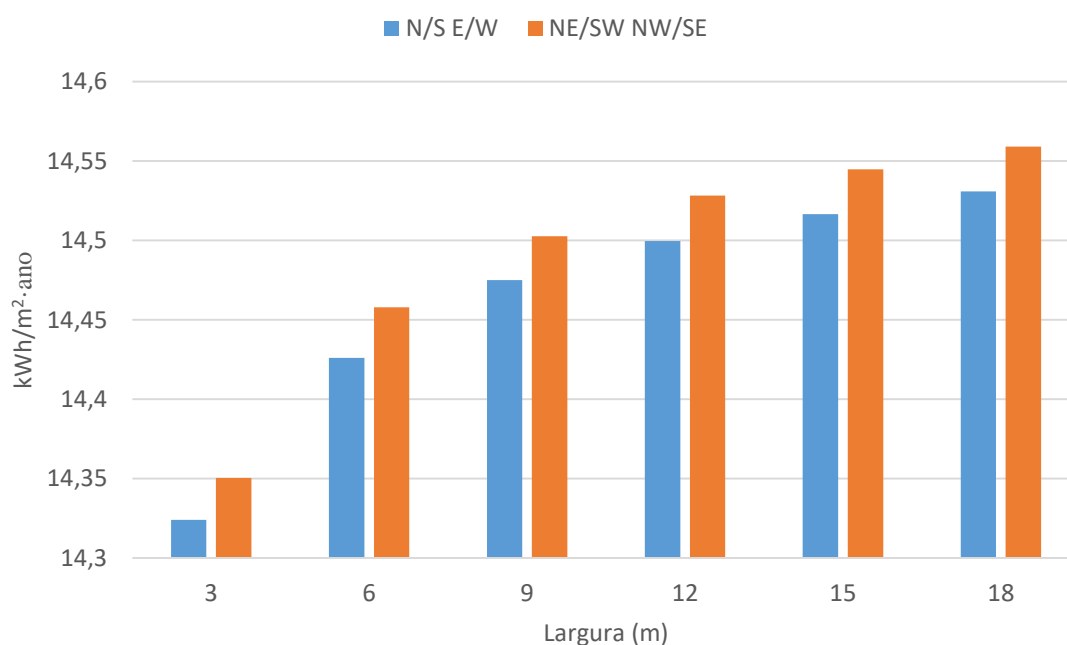


Figura 4.22 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, altura 3m, M2.

Comparando o desenvolvimento do gráfico da figura 4.21 com o do gráfico da figura 4.22, é visível que, para o mesmo tipo de envoltórios, as necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior do modelo elementar evoluem de maneiras diferentes. Então para o conjunto de soluções construtivas SB, as necessidades energéticas totais para climatização diminuem à medida que as ruas da malha se tornam sucessivamente mais largas. Por outro lado para o conjunto de soluções construtivas M2, acontece o inverso. De fato à medida que se alargam as ruas da malha as necessidades energéticas totais do modelo elementar vão aumentando.

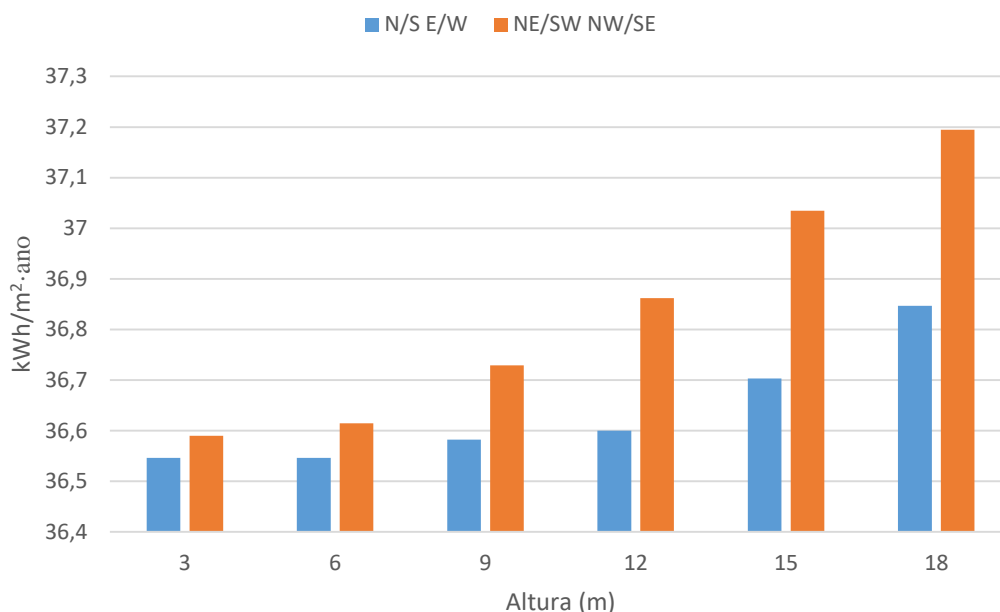


Figura 4.23 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, 18m de largura, SB.

Na figura 4.23 para o conjunto de soluções construtivas SB, mostra que mantendo a largura das ruas da malha constante e igual a 18m, mas variando a altura dos edifícios que circundam o modelo elementar, as maiores necessidades energéticas absolutas para climatização do espaço interior, assumem o valor de 37,19kWh/m²·ano, segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma altura da massa edificada de 18m. Neste caso, as menores necessidades energéticas absolutas para climatização assumem o valor de 36,54kWh/m²·ano, para uma altura da massa edificada de 3m, segundo a orientação N/S E/W.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos totais de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar serão de 36,85kWh/m²·ano, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de 0,31kWh/m²·ano.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas totais para climatização serão de 36,59kWh/m²·ano, verificando-se portanto existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de 0,60kWh/m²·ano.

Na figura 4.24 para o conjunto de soluções construtivas M2, mantendo a largura das ruas da malha urbana constante e igual a 18m, mas variando a altura dos edifícios que rodeiam o modelo elementar, as maiores necessidades energéticas absolutas registadas para climatização do espaço interior assumiram o valor de 14,56kWh/m²·ano, segundo a orientação NE/SW NW/SE, para uma altura da massa edificada de 3m. Para M2 as menores necessidades energéticas absolutas para climatização, assumiram o valor de 13,79kWh/m²·ano, para uma altura da massa edificada de 18m, segundo a orientação N/S E/W.

Segundo a orientação N/S E/W, os maiores consumos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar foram neste caso de $14,53\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, existindo portanto para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,74\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação NE/SW NW/SE, as menores necessidades energéticas totais registadas para climatização do espaço interior do modelo elementar foram neste caso de $13,96\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, verificando-se portanto existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $0,60\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

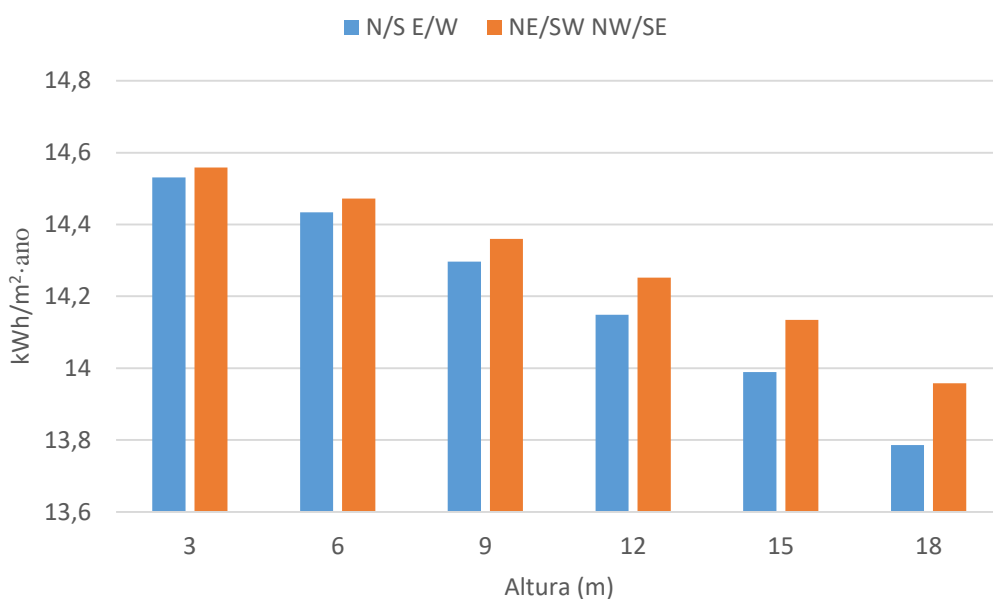


Figura 4.24 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, 18m de largura, M2.

Comparando o desenvolvimento do gráfico da figura 4.23, com o do gráfico da figura 4.24, mais uma vez o modelo de forma urbana que produz as menores necessidades energéticas totais para climatização, varia consoante o tipo de soluções construtivas assumidas. Portanto para o conjunto de soluções construtivas SB, as necessidades energéticas totais crescem à medida que a altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar aumenta. Por outro lado para o conjunto de soluções construtivas M2, as necessidades energéticas totais para climatização apresentadas pelo modelo elementar, decrescem à medida que a altura dos edifícios que o circundam aumenta.

Para o conjunto de soluções construtivas SB é de salientar que características de malha urbana que promovam uma maior exposição solar, são as que conduzem a que o modelo elementar apresente as menores necessidades energéticas totais para climatização. Assim para SB o período condicionante será o de Inverno. De facto comparando os gráficos das necessidades energéticas anuais para o período de aquecimento, com os gráficos das necessidades energéticas anuais totais para climatização do espaço interior, é visível que estes apresentam um desenvolvimento semelhante.

Por outro lado para o conjunto de soluções construtivas M2 acontece o inverso, neste caso características de malha que diminuam a exposição solar, melhoram os consumos energéticos totais apresentados pelo modelo elementar. De facto neste caso comparando os gráficos das necessidades energéticas anuais para o período de arrefecimento, com os gráficos das necessidades energéticas anuais totais para climatização do espaço interior do conjunto de soluções construtivas M2, é visível que o seu desenvolvimento é semelhante. Para este tipo de soluções construtivas o período condicionante será o de verão, deste modo características de malha que conduzam a uma diminuição das temperaturas sentidas no interior dos edifícios, devem ser consideradas como benéficas no sentido da promoção da eficiência energética.

4.5.2. Malha ortogonal retangular

No seguinte subcapítulo estão dispostos os gastos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar para os casos em que este se encontra inserido em malha urbana com um formato ortogonal retangular. Em seguida apresentam-se as necessidades energéticas anuais para o período de aquecimento, arrefecimento e totais, para casos em que a largura das ruas da malha urbana é igual à altura dos edifícios que a constituem. Os restantes casos analisados seguem em anexo.

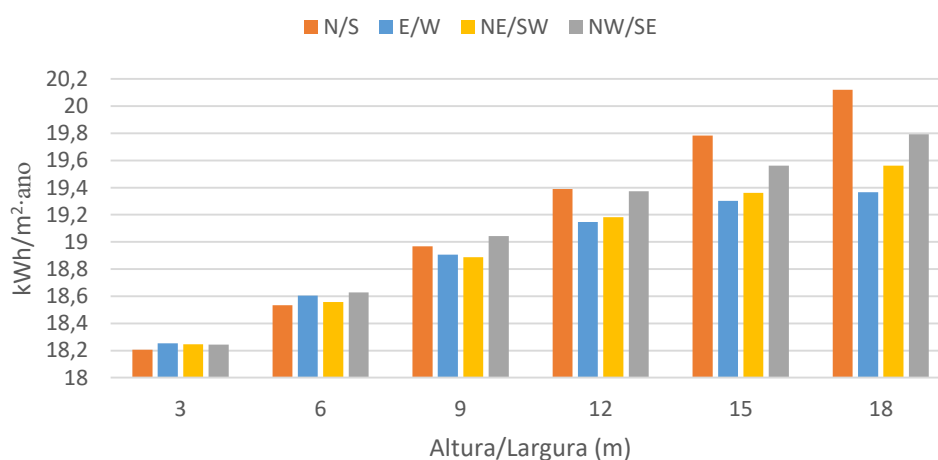


Figura 4.25 - Necessidades energéticas para aquecimento, malha retangular, d=h, SB.

Na figura 4.25 para o conjunto de soluções construtivas SB, nos casos em que a altura dos edifícios da malha é igual à largura das ruas, verifica-se que tanto as maiores como as menores necessidades energéticas absolutas para aquecimento do espaço interior do modelo elementar são registadas segundo a orientação N/S, assumindo estas respetivamente os valores de $20,12 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ para uma altura/largura de 18m e de $18,21 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ para uma altura/largura de 3m. Segundo esta orientação verifica-se então existir um potencial máximo de poupança energética em período de aquecimento de $1,91 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Para as restantes orientações os consumos máximos relativos de energia para aquecimento do espaço interior do modelo elementar assumiram os valores de, $19,37\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação N/W, $19,56\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NE/SW e de $19,79\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NW/SE.

Para as restantes orientações os consumos mínimos relativos de energia para aquecimento assumiram os valores de, $18,25\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação E/W, $18,247\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NE/SW e de $18,243\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NW/SE.

Tendo em conta os consumos máximos e mínimos de energia para aquecimento, a orientação com o menor potencial de poupança energética será a E/W, neste caso apenas será possível poupar um total de $1,19\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Entre a orientação NE/SW e a orientação NW/SE, a que origina um maior potencial de poupança em período de aquecimento será a orientação NE/SW, podendo neste caso poupar-se um máximo de energia de $1,55\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, contra os $1,314\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ que se poupariam segundo a orientação NW/SE.

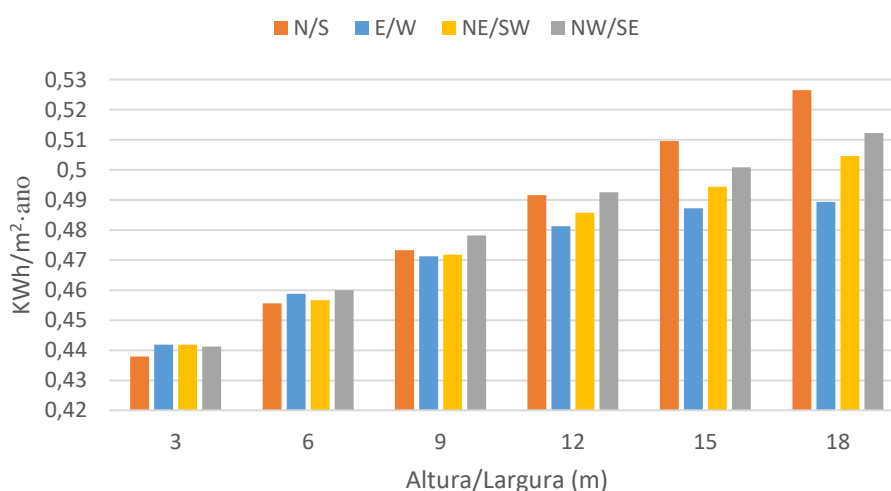


Figura 4.26 - Necessidades energéticas para aquecimento, malha retangular, $d=h$, M2.

Na figura 4.26 para o conjunto de soluções construtivas M2, quando a altura dos edifícios que circundam o modelo elementar é igual à largura das ruas da malha urbana, tanto as menores como as maiores necessidades energéticas absolutas para aquecimento do espaço interior do modelo ocorrem segundo a orientação N/S, assumindo respetivamente os valores de $0,437\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para uma altura/largura de 3m e de $0,526\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para uma altura/largura de 18m. Segundo esta orientação verifica-se existir um potencial máximo de poupança energética em período de aquecimento de $0,089\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Os restantes consumos mínimos de energia para aquecimento do espaço interior do modelo elementar foram de, $0,442\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação E/W e NE/SW e de $0,441\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NW/SE.

Os consumos máximos de energia para aquecimento do espaço interior do modelo elementar assumiram os valores de, 0,489kWh/m²·ano segundo a orientação E/W, 0,505kWh/m²·ano segundo a orientação NE/SW e de 0,512kWh/m²·ano segundo a orientação NW/SE.

Para a malha ortogonal retangular a orientação que dá origem aos menores potenciais de poupança energética para o conjunto de soluções construtivas M2 será a orientação E/W, verificando-se existir para esta orientação um potencial máximo de 0,047kWh/m². Segundo a orientação NE/SW, tendo em conta os consumos máximos e mínimos de energia para aquecimento, verifica-se existir um potencial máximo de poupança energética de 0,063kWh/m². Para a orientação NW/SE o potencial máximo de poupança energética será de 0,071kWh/m².

Nos gráficos das figuras 4.25 e 4.26 é visível que à medida que a largura das ruas e altura dos edifícios da malha urbana aumentam, aumentam também as necessidades energéticas do modelo elementar para o período de aquecimento. Esta situação ocorreu também para o caso da malha ortogonal quadrada como se demonstra pela forma dos gráficos das figuras 4.6 e 4.7 Para os dois tipos de malhas analisados, características de malhas que promovam maior exposição solar, tendem a diminuir as necessidades energéticas do modelo elementar em período de aquecimento. Neste caso tendo em conta a figura 4.8 da página 65 é perceptível que à medida que a largura das ruas e a altura dos edifícios que circundam o modelo elementar aumentam, diminui o tempo que este se encontra exposto à radiação solar, esta diminuição de exposição solar faz com que as temperaturas que se fazem sentir no seu interior diminuam, aumentando por sua vez o esforço que a unidade de climatização terá de fazer para aquecer o ar no espaço interior, dando origem a consumos energéticos cada vez mais elevados.

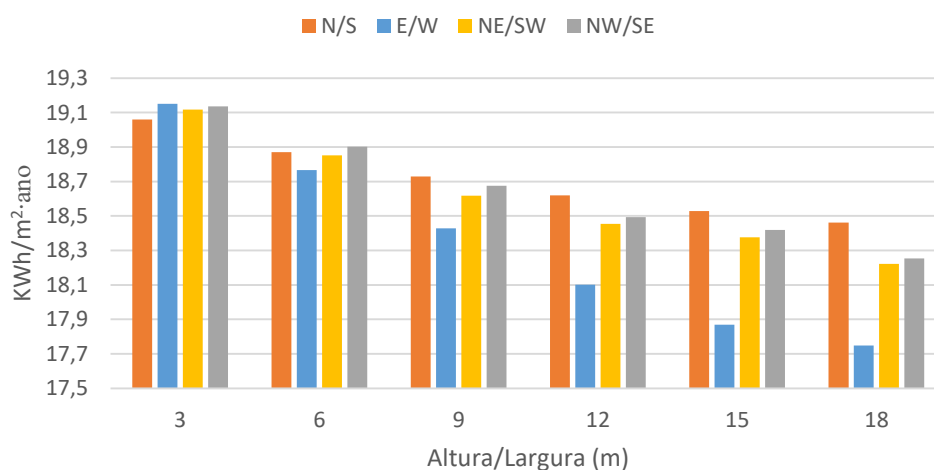


Figura 4.27 - Necessidades energéticas para arrefecimento, malha retangular, d=h, SB.

Na figura 4.27 para o conjunto de soluções construtivas SB, para os casos em que a largura das ruas da malha urbana é igual à altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, tanto as maiores como as menores necessidades energéticas absolutas para

arrefecimento do espaço interior do modelo elementar foram registadas segundo a orientação E/W, assumindo respetivamente os valores de $17,75\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, para uma altura/largura de 3m e de $19,15\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, para uma altura/largura de 18m. Segundo esta orientação será possível em período de arrefecimento poupar $1,4\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Neste caso para as restantes orientações analisadas os maiores consumos de energia para arrefecimento do modelo elementar assumiram os valores de, $19,06\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação N/S, $19,11\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NE/SW e $19,14\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NW/SE.

Os menores consumos relativos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar assumiram neste caso os valores de, $18,46\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação N/S, $18,22\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NE/SW e $18,25\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NW/SE.

Tendo em conta tanto os valores máximos relativos como os mínimos relativos de energia consumidos pela unidade de climatização para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar para o conjunto de soluções SB, a orientação que proporciona o menor potencial de poupança energética será a N/S, poupando-se neste caso apenas $0,6\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Para as orientações NE/SW e NW/SE será possível poupar em período de arrefecimento um total de $0,89\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

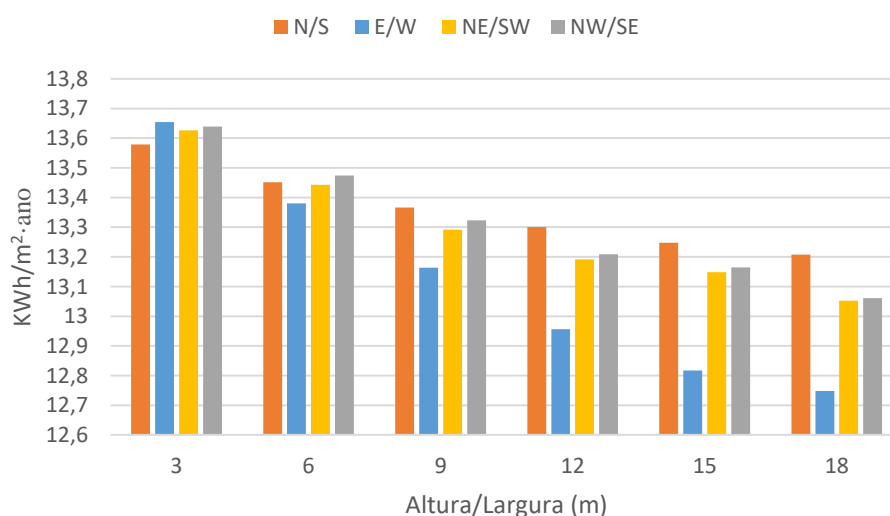


Figura 4.28 - Necessidades energéticas para arrefecimento, malha retangular, $d=h$, M2.

Na figura 4.28 para o conjunto de soluções construtivas M2, nos casos em que a altura dos edifícios que circundam o modelo elementar é igual à largura das ruas da malha urbana, os maiores consumos absolutos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar assumiram o valor de $13,65\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, para uma altura/largura de 3m, segundo a orientação E/W. Ainda segundo esta orientação para uma altura/largura de 18m foram registados os menores consumos absolutos de energia para arrefecimento,

assumindo estes o valor de $12,75\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Neste caso verifica-se que o potencial máximo de energia de poupança energética do modelo elementar será de $1,1\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Para as restantes orientações, as maiores necessidades energéticas relativas ao período de arrefecimento assumem o valor de $13,58\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação N/S, $13,63\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NE/SW e de $13,06\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NW/SE.

Neste caso as menores necessidades energéticas em período de arrefecimento para as restantes orientações analisadas assumiram os valores de $13,21\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação N/S, $13,05\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NE/SW e $13,06\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ segundo a orientação NW/SE.

Para o conjunto de soluções construtivas M2 em período de arrefecimento o menor potencial de poupança energética será de $0,58\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, este valor será o mesmo tanto para orientação NE/SW, como para a orientação NW/SW. Para a orientação N/S, o potencial máximo de poupança energética será neste caso de $0,64\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Nos gráficos das figuras 4.27 e 4.28 é visível que à medida que a largura das ruas e que a altura dos edifícios da malha aumentam, as necessidades energéticas do modelo elementar para o período de arrefecimento diminuem. Esta situação também ocorreu para os casos em que o modelo elementar se encontra inserido numa malha com formato ortogonal quadrado como se viu nos gráficos das figuras 4.13 e 4.14. Deste modo temos que para os dois tipos de malhas analisados, independentemente do tipo de soluções construtivas assumidas para o modelo elementar, características de malhas que diminuam a exposição solar, acabam por conduzir a menores consumos de energia para arrefecimento do espaço interior do modelo elementar. A figura 4.8 da página 65, revela que à medida que a largura das ruas e altura dos edifícios aumentam, os raios de sol passam a atingir cada vez mais tarde o modelo elementar. Esta diminuição da exposição solar em período de arrefecimento é benéfica, pois como se sabe menores exposições solares tendem a fazer baixar as temperaturas que se fazem sentir no interior dos edifícios. Temperaturas mais baixas em período de verão tendem a diminuir o esforço que os mecânicos de climatização dos espaços interiores terão de fazer para garantir a manutenção da sensação de conforto térmico. Esta situação acaba por dar origem a consumos energéticos cada vez mais reduzidos.

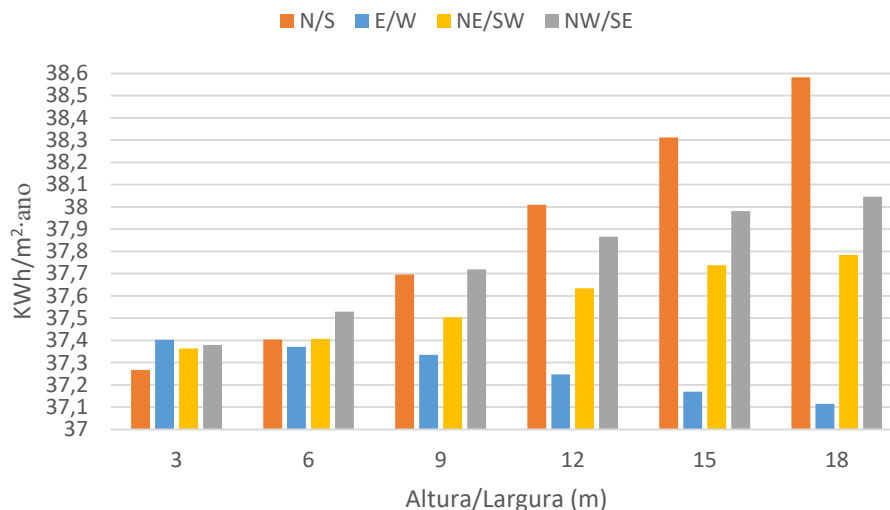


Figura 4.29 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha retangular, $d=h$, SB.

Na figura 4.29 para o conjunto de soluções construtivas M2, nos casos em que a largura das ruas da malha urbana é igual à altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, as menores necessidades energéticas absolutas para climatização do espaço interior do modelo, assumiram o valor de $37,11 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação E/W, para uma altura/largura de 18m. Neste caso as maiores necessidades energéticas absolutas para climatização, foram verificadas segundo a orientação N/S, para uma largura/altura de 18m, assumindo o valor de $38,58 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo a orientação N/S, os menores consumos de energia para climatização do espaço interior assumiram o valor de $37,27 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, para uma altura/largura de 3m, verificando-se existir para esta orientação um potencial máximo de poupança energética de $1,31 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Para a orientação E/W, os maiores consumos de energia tendo em conta os dois períodos de climatização, foram registados para uma altura/largura de 3m, assumindo estes o valor de $37,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$. De entre todas as orientações analisadas, esta é que dá origem aos menores potenciais de poupança energética, podendo-se neste caso na melhor das hipóteses poupar apenas $0,29 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Para as restantes orientações os consumos máximos de energia para climatização assumiram os valores de $37,78 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação NE/SW e de $38,06 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação NW/SE. Para estas duas orientações os menores consumos de energia assumiram os valores de $37,36 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação NE/SW e de $37,38 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, segundo a orientação NW/SE. Deste modo temos que o potencial máximo de poupança energética segundo a orientação NE/SW, será de $0,42 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$. O potencial máximo e poupança segundo a orientação NW/SE assume o valor de $0,68 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$. Entre estas duas orientações os consumos energéticos apresentados pelo modelo elementar serão sempre superiores segundo a orientação NW/SE.

No gráfico da figura 4.29, para o conjunto de soluções construtivas SB, temos dois tipos diferentes de evolução das curvas das necessidades energéticas totais. De fato quando a malha retangular assume as orientações N/S, NE/SW ou NW/SE as necessidades energéticas do modelo elementar aumentam à medida que a largura das ruas e altura dos edifícios aumenta. Para estas orientações as curvas das necessidades energéticas apresentam um comportamento semelhante ao já visto no gráfico da figura 4.25, que representa as necessidades energéticas do modelo elementar para o período de aquecimento. Para este grupo de orientações o período condicionante será o de inverno, deste modo características de malha que privilegiem a exposição solar, tendem a melhorar o desempenho energético apresentado pelo modelo elementar. Por outro lado, para o conjunto de soluções construtivas SB, nos casos em que a malha assume a orientação E/W, as necessidades energéticas totais apresentadas pelo modelo elementar, diminuem à medida que se alargam as ruas e se aumenta a altura da massa edificada. Para esta orientação a evolução das necessidades energéticas totais do modelo elementar é similar à já vista no gráfico da figura 4.27, que é representativo das necessidades energéticas do modelo em período de arrefecimento. Para esta orientação o período condicionante será o de verão, deste modo características de malha que conduzam a menor exposição do modelo elementar à radiação solar, acabam por ser benéficas do ponto de vista da eficiência energética.

Na figura 4.30 para o conjunto de soluções construtivas M2, nos casos em que a largura das ruas da malha urbana é igual à altura dos edifícios que envolvem o modelo elementar, tanto as menores como as maiores necessidades energéticas absolutas para climatização do espaço interior do modelo elementar, foram registadas segundo a orientação E/W, assumindo respetivamente os valores de $13,24\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para uma altura/largura de 18m e de $14,09\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para uma altura/largura de 3m. Segundo esta orientação, verifica-se existir um potencial máximo de poupança energética de $0,85\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Segundo a orientação N/S, os maiores e menores consumos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar assumiram respetivamente os valores de $14,02\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ e de $13,73\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Esta orientação é a que proporciona o menor dos potenciais de poupança energética, podendo neste caso poupar-se apenas $0,29\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Para as restantes orientações analisadas, os maiores gastos com energia para climatização do espaço interior do modelo elementar assumiram os valores de $14,07\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação NE/SW e de $14,08\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$, segundo a orientação NW/SE. Para estas duas orientações os consumos mínimos de energia para climatização foram respetivamente de $13,56\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ e de $13,50\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Tendo em conta tanto os valores máximos como os valores mínimos de consumos energéticos apresentados segundo estas duas orientações, verifica-se existir um potencial máximo de poupança energética de $0,51\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para a orientação NE/SW e de $0,49\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para a orientação NW/SE. Entre estas duas orientações para as várias características da malha ortogonal retangular analisada, a orientação NE/SW é que dá origem aos menores consumos energéticos totais.

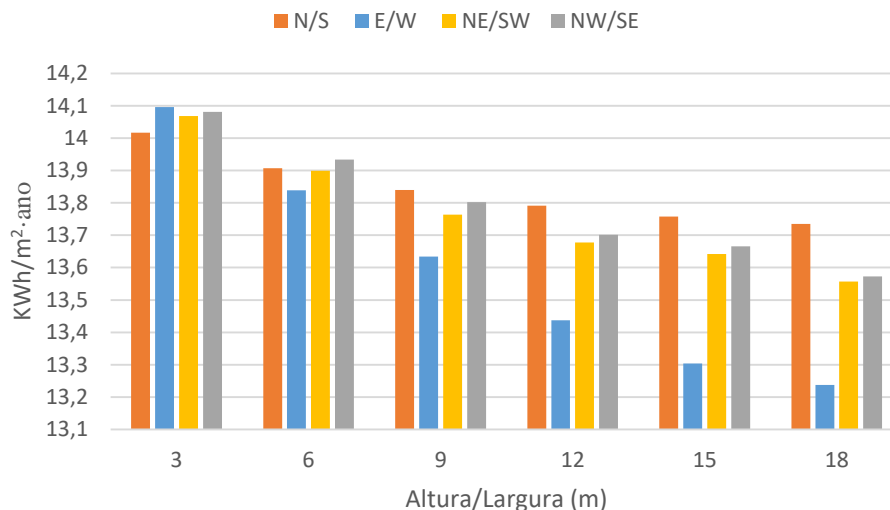


Figura 4.30 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha retangular, $d=h$, M2.

O gráfico da figura 4.30 mostra que à medida que a largura das ruas e a altura dos edifícios da malha urbana aumentam, as necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior do modelo elementar diminuem. O comportamento das curvas representativas das necessidades energéticas totais para o conjunto de soluções construtivas M2 é semelhante ao já visto no gráfico da figura 4.29, onde se apresentam as necessidades energéticas do modelo elementar em período de arrefecimento. Neste caso o período condicionante será o de verão, então características de malha que conduzam a menor exposição solar, serão as mais eficientes ao nível da eficiência energética.

Comparando o desenvolvimento do gráfico da figura 4.29 com o gráfico da figura 4.30, a evolução das curvas das necessidades energéticas totais para climatização, dependem bastante do tipo de soluções construtivas admitidas para o modelo elementar. Assim as características de malha que promovam a eficiência energética para um tipo de soluções construtivas, acabam por ser aquelas que para outro tipo de soluções originam aos maiores consumos de energia para climatização.

Nesta caso, a orientação que produz os menores consumos energéticos varia consoante as características físicas da malha.

Para o conjunto de soluções construtivas M2, fica claro que os menores consumos de energia para climatização do espaço interior do modelo elementar, ocorrem quando a malha é caracterizada por ruas largas e edifícios altos.

Para o conjunto de soluções construtivas SB, no caso de a malha ser ortogonal retangular, as características de malha que geram os menores consumos de energia para climatização, dependem da orientação que lhe é dada. Se a orientação for a E/W, ruas largas e edifícios altos, tendem a diminuir as necessidades energéticas apresentadas pelo modelo elementar. Por outro lado, para as restantes orientações, malhas com ruas mais estreitas e edifícios mais baixos, tendem a conduzir às menores necessidades energéticas.

5. CASO DE ESTUDO – MORADIA NA QUINTA DE VALADARES

5.1. Enquadramento

O desempenho energético de um edifício está interligado com as opções tomadas na fase de planeamento urbano. A largura das ruas e a orientação da malha urbana, acabam por ser dois dos fatores externos a um edifício que mais influenciam as suas necessidades energéticas. Uma boa conjugação entre estes dois fatores pode ser positiva na redução dos gastos energéticos para climatização do seu espaço interior.

Um edifício ao longo da sua existência pode passar por várias alterações de envolvente. Tal acontece por exemplo se, em torno deste forem construídos novos edifícios, demolidos edifícios antigos, ou criados novos espaços verdes.

De facto numa nova urbanização nem todos os edifícios são construídos ao mesmo tempo. Em algumas situações, verifica-se que mesmo estando o plano de loteamento feito e os projetos de construção aprovados, apenas alguns dos edifícios são efetivamente construídos, acabando por muitos dos lotes ficarem vazios. Mais tarde estes espaços vazios poderão ou não ser ocupados.

Estas possíveis alterações da envolvente de um edifício acabam por fazer com que ao longo da sua “vida”, as suas necessidades energéticas possam não ser constantes.

5.2. Proposta de estudo

Tendo em conta o que foi dito, torna-se então interessante verificar de que forma varia as necessidades energéticas apresentadas por um edifício quando as soluções urbanísticas em torno deste variam.

Deste modo no presente capítulo far-se-á a análise do desempenho energético de um edifício de habitação. O edifício em estudo corresponde a um edifício real, que virá mais tarde a ser construído.

Neste contexto determinar-se-ão tanto as necessidades energéticas do edifício em estudo para a situação inicial após a sua construção, como para possíveis situações futuras em que o espaço em seu redor sofre alterações ao nível urbanístico.

Estas alterações terão no entanto em conta a manutenção da geometria inicial da malha onde o edifício se insere. Ou seja, este localizar-se-á sempre no mesmo sítio, a largura das ruas será sempre a mesma. No entanto, tendo em conta as vicissitudes de ocupação do espaço, estudar-se-á de que modo a introdução de novos edifícios nos quarteirões envolventes altera as necessidades energéticas apresentadas por este.

5.3. Descrição da envolvente.

O edifício em estudo será construído na Rua Al Berto n.º 21, 2855-527, freguesia de Corroios, concelho de Seixal, distrito de Setúbal. (Figura 5.1)

Esta zona encontra-se a uma distância da costa inferior a 5km e a uma altitude em relação ao nível do mar de 51,3m.

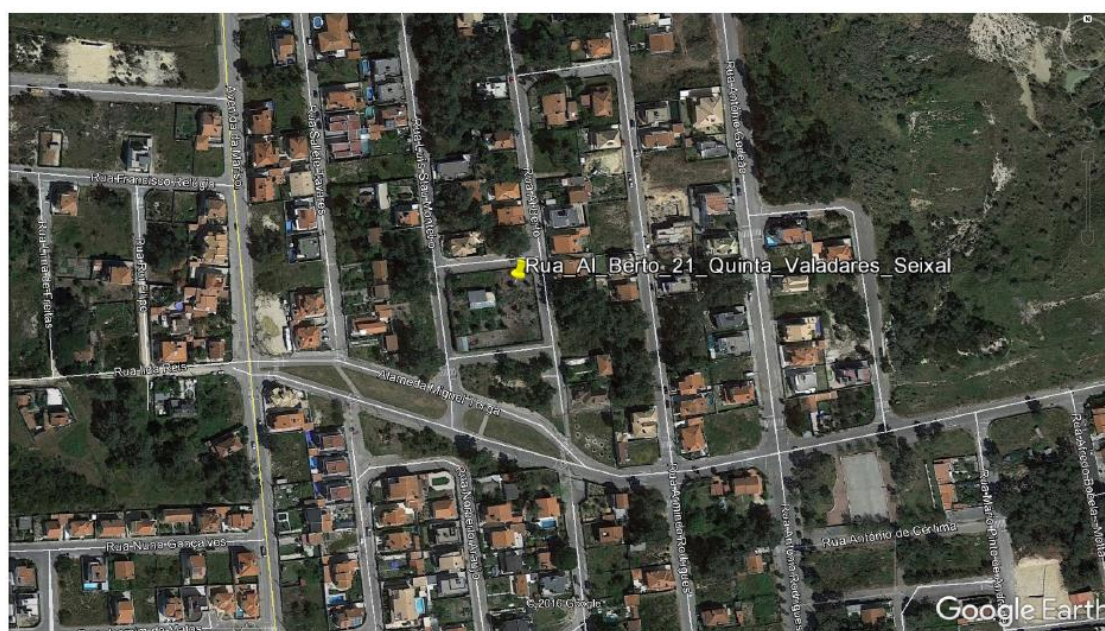


Figura 5.1 - Localização do edifício em estudo. (Google Earth, 2017)

Esta é uma zona residencial de baixa densidade populacional na periferia de uma zona urbana. Os edifícios nesta zona são moradias de habitação principal de um ou dois pisos.

No quarteirão onde se insere o edifício em estudo, espera-se que venham a ser construídos edifícios de tipologias similares a este. É de salientar que na situação atual este quarteirão se encontra completamente murado, existindo no seu interior uma pequena horta, árvores de fruto e dois barracões ligeiros de apoio à agricultura.

No quarteirão a Norte do edifício em estudo, do lado oposto da rua, apenas existe uma moradia de habitação de dois pisos e um lote vazio. O lote vazio encontra-se diretamente a norte do edifício em estudo, neste verifica-se existirem árvores de elevado porte. Atrás deste lote vazio, existem duas moradias de habitação de dois pisos.

O quarteirão exatamente a sul do local onde se espera vir a construir o edifício em estudo encontra-se vazio. Mais uma vez no seu interior existem árvores de elevado porte. A sul deste existe uma avenida com aproximadamente 27m de largura. Do outro lado da avenida voltam a existir moradias de habitação de um ou dois pisos.

No quarteirão a Este verifica-se existir do lado oposto da rua ao edifício em estudo, uma moradia de habitação de dois pisos. A sul muitos dos lotes estão ainda vazios, contendo no seu interior tanto vegetação rasteira como árvores de elevado porte. Na parte Norte do quarteirão Este,

verifica-se mais uma vez existir uma combinação de lotes ocupados por moradias de 2 pisos e lotes vazios ocupados por vegetação.

No quarteirão a Oeste, verifica-se que do lado exatamente oposto da rua onde se inserirá o edifício em estudo, existem três tipos de lotes, lotes vazios sem arborização, lotes com árvores de elevado porte e lotes ocupados por moradias de habitação com um ou dois pisos.

As larguras das ruas entre o quarteirão principal e os quarteirões mais próximos do edifício em estudo encontram-se expostas na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Largura das ruas entre o quarteirão principal e a envolvente.

Largura das ruas (m)	Norte	Sul	Este	Oeste
	8,7	12,45	9,6	9,2

As alturas médias de todos os elementos existentes nos quarteirões envolventes ao quarteirão onde se encontra inserido o edifício em estudo encontram-se compiladas na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Altura dos elementos existentes na envolvente.

Alturas médias dos elementos existentes na malha	Moradias de um Piso	Moradias de dois Pisos	Massas verdes
	3m	6m	5m a 8m

5.4. Descrição do edifício

O edifício em estudo trata-se de uma moradia de habitação unifamiliar com tipologia de T3. Este é composto por sala, cozinha, zona de circulação, duas instalações sanitárias, três quartos, um quintal em torno da moradia, espaço para estacionamento e piscina. A área total interior útil de pavimento é de 96,14 m² e o pé direito médio ponderado é de 2,7m. O edifício apenas tem um piso, a sua cobertura é plana estando prevista a colocação de painéis solares.

As áreas das divisões existentes no edifício em estudo encontram-se expostas na tabela 5.3, estas foram obtidas através de medição direta da planta do edifício, estando no entanto em concordância com os valores expostos no seu projeto de comportamento térmico.

Tabela 5.3 – Áreas e volumes das divisões.

Divisão	Área (m ²)	% de Área	Volume (m ³)
Sala comum	28,17	29,3	76,06
Cozinha	17,95	18,7	48,47
Circulação	5,5	5,7	14,85
Casas de Banho	9,67	10,1	26,11
Quartos	34,85	36,2	94,10
Total	96,14	100	259,58

Na figura 5.2 está exposta a planta do edifício em estudo, nesta é possível ter uma ideia da organização do seu espaço interior. É salientar no entanto que o edifício tem duas portas de acesso ao exterior. A porta principal está na fachada Sul e a porta secundária está na fachada oeste.

No total o edifício tem sete vãos envidraçados, um na fachada Oeste, dois na fachada Este, dois na fachada Sul e dois na fachada Norte.

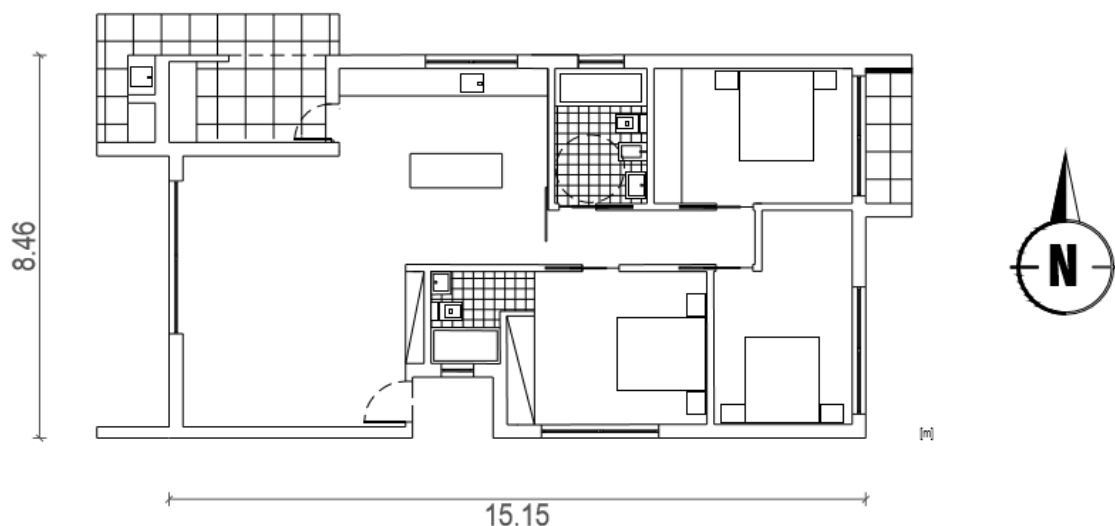


Figura 5.2 - Planta da moradia unifamiliar em estudo, adaptado de Godinho (2016).

Na tabela 5.4, encontram-se expostas as áreas de cada uma das fachadas do edifício em estudo. É de salientar que embora na fachada Oeste do edifício apenas exista um vão envidraçado, este é maior de toda a casa, dando inclusive acesso ao quintal da mesma.

Tabela 5.4 – Área de fachadas.

Fachada \ Zona	Corrente (m ²)	Elementos Estruturais (m ²)	Envidraçados (m ²)	Portas (m ²)	Área Total (m ²)
Norte	37,94	4,7	2,16		44,81
Sul	35,29	4,7	3,22	1,6	44,81
Este	15,81	2,8	5,92		24,53
Oeste	14,03	2,8	6,1	1,6	24,53
Total	103,07	15	17,4	3,2	138,68

Relativamente às soluções construtivas do próprio edifício, as paredes exteriores deste têm uma espessura de 29,5cm e um coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,44W/(m².°C). Estas são compostas por revestimento exterior de reboco tradicional armado com 0,5cm de espessura, isolamento de poliestireno expandido (EPS) com 4cm de espessura, pano interior de tijolo cerâmico furado com 24cm de espessura e revestimento interior de estuque tradicional de 1 cm de espessura. As paredes serão pintadas de branco, tanto na sua face interior como exterior. Na tabela 5.4, estão expostas as resistências térmicas de todos os elementos constituintes da parede exterior. Os valores de resistências térmicas que aqui se apresentam foram obtidos diretamente

do projeto de comportamento térmico deste edifício, estando no entanto em concordância com os valores expostos no ITE50.

Tabela 5.5 – Paredes exteriores.

Parede exterior	Material	espessura (cm)	condutib. térmica W/(m.°C)	resist. térmica (m².°C)/W
revestimento exterior	reboco tradicional armado	0,5	1,8	0,003
isolamento	poliestireno expandido (EPS)	4	0,04	1
pano interior	Tijolo ceramico	24	0	1,07
revestimento exterior	estruque tradicional	1	0,57	0,018
Rse				0,04
Rsi				0,13
total		29,5		2,261

Os elementos estruturais (pilares e vigas) da moradia em estudo têm uma espessura de 30cm e um coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,78W/(m².°C). Estes são compostos por revestimento exterior de argamassa com 0,5cm de espessura, isolamento de poliestireno expandido (EPS) com 4 cm de espessura, estrutura de betão armado com 25cm de espessura e revestimento interior de estuque tradicional com 0,5cm de espessura.

Tabela 5.6 – Elementos estruturais (vigas e pilares).

Elementos estruturais (vigas e pilares)	Material	espessura (cm)	condutib. térmica W/(m.°C)	resist. térmica (m².°C)/W
revestimento exterior	argamassa de reboco tradicional	0,5	1,3	0,004
isolamento	poliestireno expandido (EPS)	4	0,04	1
estrutura	betão armado	25	2,5	0,1
revestimento interior	estruque tradicional	0,5	0,57	0,009
Rse				0,04
Rsi				0,13
total		30		1,283

O pavimento térreo da moradia em estudo tem uma espessura de 17cm e uma resistência térmica de 0,97(m².°C)/W. Este é composto por revestimento interior de mosaicos cerâmicos com 1cm de espessura, camada intermédia de argamassa de regularização com 1cm de espessura e laje de betão leve tipo “leca” com 15cm de espessura.

Tabela 5.7 – Pavimento térreo.

Pavimento térreo	Material	espessura (cm)	condutib. térmica W/(m.°C)	resist. Térmica (m².°C)/W
revestimento interior	mosaicos cerâmicos	1	2,3	0,004
camada intermédia	argamassa de regularização	1	1,3	0,008
laje	betão leve tipo "leca"	15	0,156	0,962
total		17		0,974

A cobertura exterior do edifício é plana e não acessível, com 28cm de espessura e um coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,337W/(m².°C). Esta é composta por revestimento exterior de tela de impermeabilização, isolamento de poliestireno extrudido (XPS) com 10 cm de espessura, estrutura aligeirada de vigotas com blocos cerâmicos de 17cm de espessura e revestimento interior de estuque tradicional com 1cm de espessura.

Tabela 5.8- Cobertura exterior.

Cobertura	Material	espessura (cm)	condutib. térmica W/(m.°C)	resist. Térmica (m².°C)/W
revestimento exterior	tela de impermeabilização			
isolamento	poliestireno extrudido (XPS)	10	0,037	2,703
cobertura	vigotas aligeiradas com blocos cerâmicos	17		0,13
revestimento interior	estuque tradicional	1	0,57	0,018
Rse				0,04
Rsi				0,1
total		28		2,991

As paredes interiores de compartimentação da moradia em estudo têm 15cm de espessura e um coeficiente de transmissão térmica (U) de 1,67W/(m².°C). Estas são compostas por revestimento interior de 2cm de estuque tradicional, pano interior de alvenaria de tijolo cerâmico de 11cm de espessura e mais 2cm de revestimento interior de estuque tradicional.

Tabela 5.9 – Paredes interiores.

Paredes interiores	Material	espessura (cm)	condutib. térmica W/(m.°C)	resist. Térmica (m².°C)/W
revestimento interior	estuque tradicional	2	0,57	0,035
pano	alvenaria de tijolo cerâmico	11		0,27
revestimento interior	estuque tradicional	2	0,57	0,035
Rsi				0,13
Rsi				0,13
total		15		0,6

Os vãos envidraçados da moradia serão duplos e de correr, com 6mm de vidro incolor tanto no interior como no exterior, contendo uma lâmina de ar de 14mm de espessura. O coeficiente de transmissão térmica (U) adotado para a caixilharia foi de 2W/(m².°C). A proteção das janelas será exterior, feita por estores.

Tabela 5.10 – Vãos envidraçados.

Vãos envidraçados	Vidro duplo
Espessuras	incolor 6mm (ext) + incolor 6mm (int)
Espessura da lâmina de ar	14,0mm
Caixilharia	Metálica com corte térmico
Tipo de Proteção	Proteção exterior
	Persianas de réguas plásticas (estores)

5.5. Cenários

Tendo em conta as características da envolvente e da ocupação do espaço na zona onde se insere o edifício em estudo, optou-se para além de determinar as necessidades energéticas apresentadas por este na situação inicial já descrita no subcapítulo 5.3, determinar também as suas necessidades energéticas para possíveis variações de envolvente e de ocupação do espaço. No total foram considerados seis cenários diferentes de ocupação do espaço, a largura das ruas em torno do quarteirão onde está inserido o edifício em estudo foi mantida constante. O que variou essencialmente de cenário para cenário foi o modo de ocupação do espaço. Consideraram-se cenários em que os lotes desocupados nos quarteirões envolventes ao quarteirão onde se situa o edifício em estudo estariam ocupados por moradias de dois pisos ou por prédios de quatro pisos. Relativamente ao quarteirão onde se insere o edifício em estudo, consideraram-se cenários em que neste só existiria o próprio edifício ou existiram mais cinco edifícios iguais a si. Os cenários analisados descrevem-se detalhadamente de seguida.

- Cenário 1

O cenário 1 corresponde à situação em que no quarteirão onde está implantada a moradia em estudo, existem mais cinco moradias com configuração e orientação igual a esta. Nos quarteirões envolventes, tanto nos lotes vazios como nos lotes onde existem na situação real moradias, optou-se por colocar no seu lugar edifícios de 12m de altura. Este cenário corresponde a uma situação em que todas as zonas em torno do edifício em estudos estão ocupadas por edifícios.

- Cenário 2

O cenário 2 corresponde à situação em que no quarteirão onde está implantada a moradia em estudo, os restantes lotes estão desocupados. Nos quarteirões envolventes ao quarteirão central, tanto nos locais em que na situação real existiam moradias, como nos lotes desocupados, passam a existir edifícios com 12m de altura. Este cenário é bastante similar ao cenário 1, estando a diferença essencial no modo de ocupação do quarteirão central. No primeiro cenário o quarteirão central está completamente ocupado por edifícios, ao passo que no segundo cenário no quarteirão central, apenas existe o edifício em estudo.

- Cenário 3

O cenário 3 corresponde à situação em que, no quarteirão central para além do edifício em estudo, existem mais cinco edifícios com igual configuração à deste. Nos quarteirões envolventes ao edifício em estudo, existem tanto lotes desocupados como moradias de um piso e dois pisos. Nos lotes desocupados, considerou-se existirem árvores com uma altura de ramagem compreendida entre os 2m e os 8m de altura.

- Cenário 4

O cenário 4 corresponde à situação em que no quarteirão central, existem mais cinco moradias iguais à moradia em estudo. Nos quarteirões envoltentes, existem moradias de um ou de dois pisos em todos os lotes, não existindo portanto neste cenário lotes vazios. O cenário 3 e 4 são bastante similares, a diferença entre estes, está relacionada com a ocupação dos quarteirões envoltentes, no cenário 3 existem lotes vazios com vegetação e no cenário 4, todos os lotes estão ocupados.

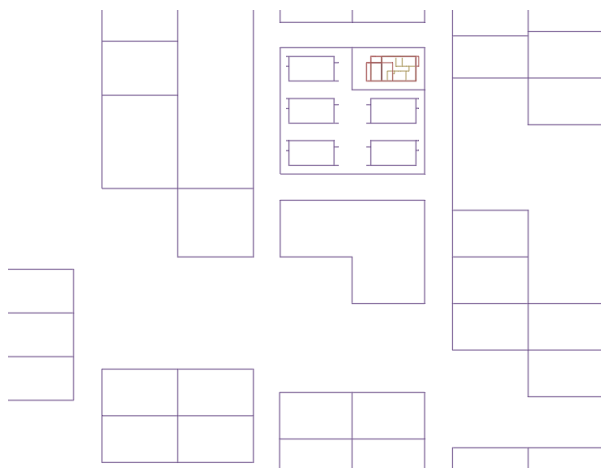


Figura 5.3 – Cenário 4, representação esquemática do modelo analisado.

- Cenário 5

O cenário 5 corresponde à situação em que, no quarteirão central apenas existe a moradia em estudo. Nos quarteirões circundantes existe uma combinação entre lotes vazios com vegetação e moradias de um a dois pisos.

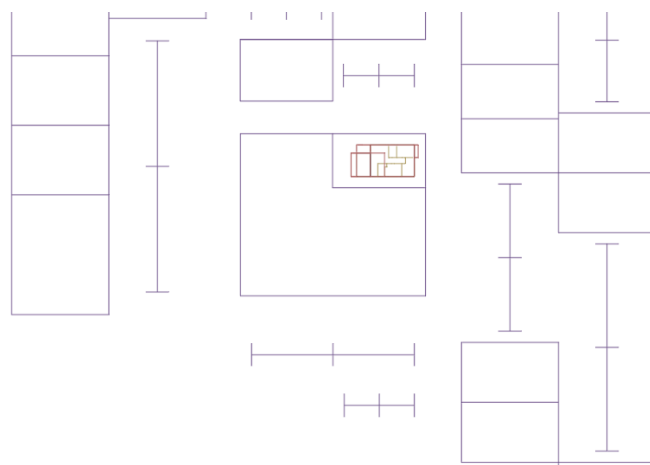


Figura 5.4 - Cenário 5, representação esquemática do modelo analisado.

- Cenário 6

O cenário 6 corresponde à situação em que no quarteirão central, apenas existe o edifício em estudo. Nos quarteirões em torno do quarteirão central, todos os lotes se encontram preenchidos por moradias de um a dois pisos.

Na tabela 5.11 estão resumidas simplificadamente todas as considerações relativas às variações de envolvente consideradas. É de salientar que de cenário para cenário o edifício em estudo vai ficando cada vez mais exposto ao sol, tal acontece pois a altura dos elementos da sua envolvente vai diminuindo.

Tabela 5.11 – Resumo de cenários analisados.

Envolvente	Quarteirão Central	Quarteirões Circundantes		
	Moradias (altura 3m)	Prédios (altura 12m)	Lotes Vazios/Vegetação (copa das árvores de 2m a 8m)	Moradias (altura de 3m ou 6m)
Cenário 1	✓	✓	✗	✗
Cenário 2	✗	✓	✗	✗
Cenário 3	✓	✗	✓	✓
Cenário 4	✓	✗	✗	✓
Cenário 5	✗	✗	✓	✓
Cenário 6	✗	✗	✗	✓

5.6. Análise e discussão de resultados

Os resultados que se apresentam de seguida encontram-se compilados sobre a forma gráfica. Estes foram obtidos com recurso ao software informático EnergyPlus.

Após introduzir todos os parâmetros de simulação relativos ao edifício em estudo, a imagem do edifício gerada pelo software encontra-se exposta na figura 5.5.

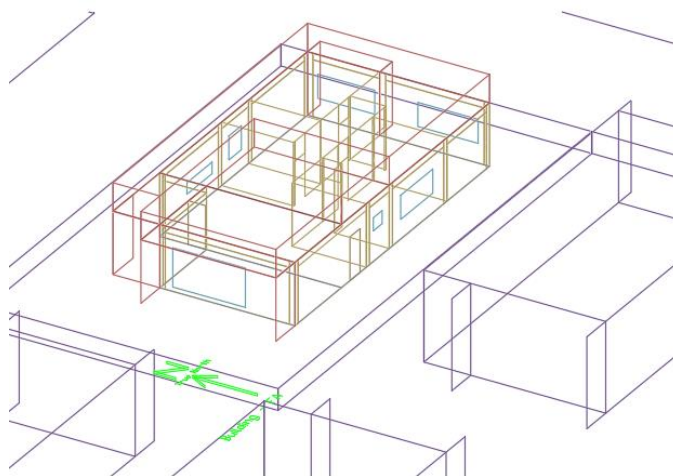


Figura 5.5 – Modelo da moradia ensaiado e gerado pelo EnergyPlus.

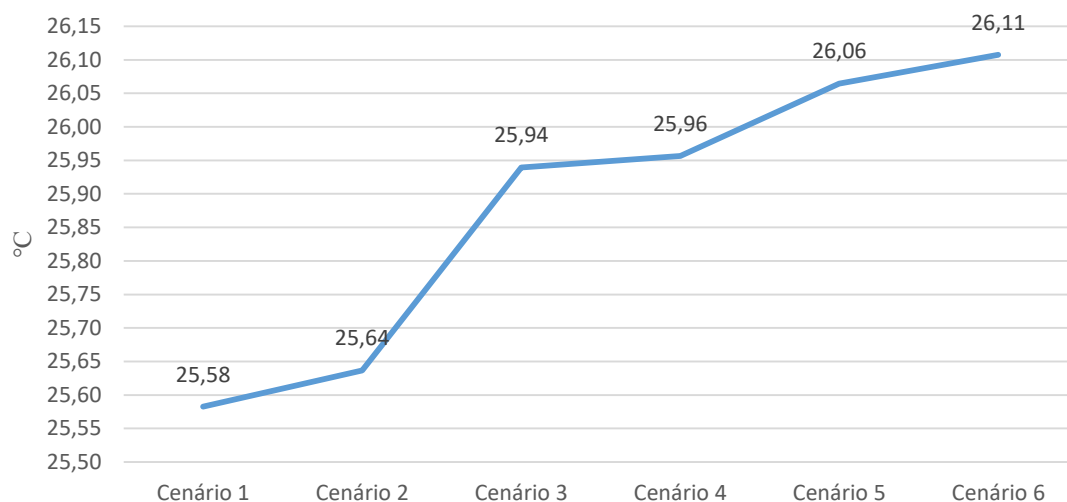


Figura 5.6 - Temperaturas interiores médias anuais.

Na figura 5.6 as temperaturas interiores médias anuais verificadas no espaço interior da moradia em estudo aumentam do cenário 1 para o cenário 6. Neste caso as menores temperaturas médias anuais assumiram o valor de 25,58°C, para o cenário 1. As maiores temperaturas médias interiores assumiram o valor de 26,11°C, para o cenário 6, neste caso verifica-se existir uma diferença máxima entre temperaturas médias de 0,53°C. Para o cenário 5 que é o que mais se aproxima da situação real temos que as temperaturas médias anuais no interior do edifício em estudo assumiram o valor de 26,06°C.

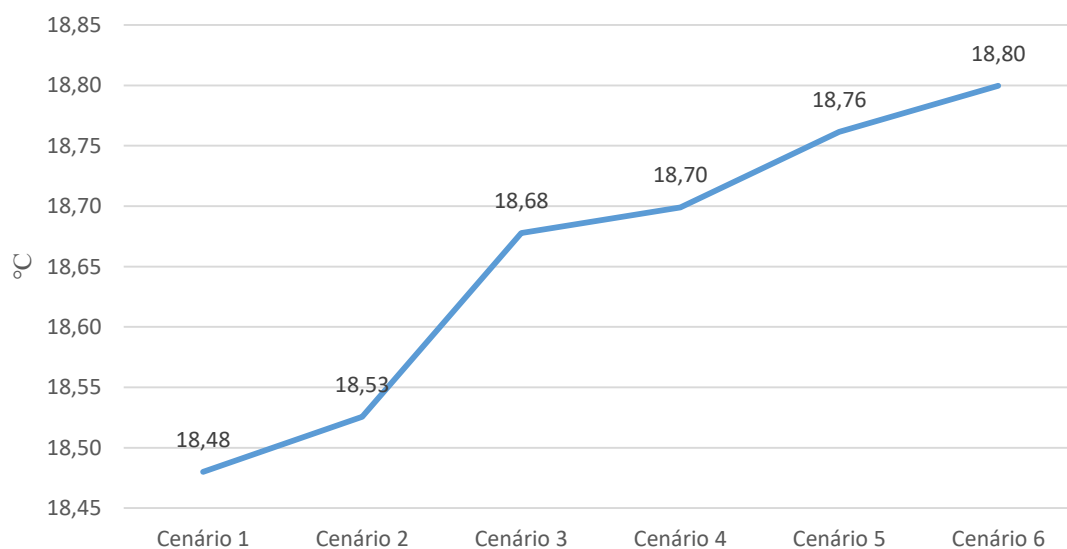


Figura 5.7 - Temperaturas interiores mínimas anuais.

Na figura 5.7 as temperaturas mínimas no interior da moradia em estudo aumentam do cenário 1 para o cenário 6. Neste caso as menores temperaturas mínimas assumiram o valor de 18,48°C para o cenário 1, ao passo que as maiores temperaturas mínimas assumiram o valor de 18,80°C

para o cenário 6. Entre estes dois cenários verifica-se existir uma diferença entre temperaturas mínimas de 0,32°C. Para o cenário 5 a temperatura mínima verificada no interior da moradia em estudo foi de 18,76°C.

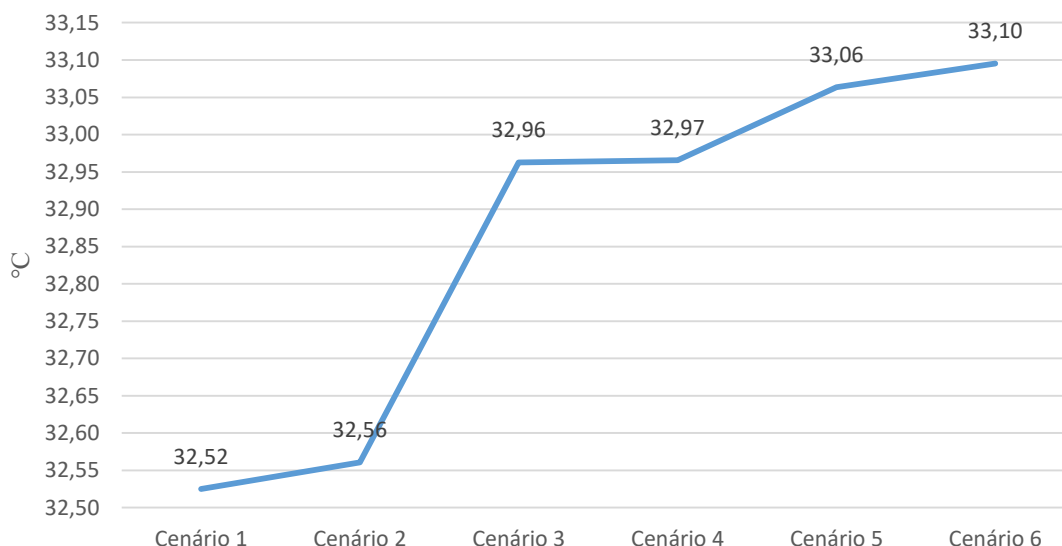


Figura 5.8 - Temperaturas interiores máximas anuais.

Na figura 5.8 as temperaturas máximas verificadas no interior da moradia em estudo vão aumentando do cenário 1 para o cenário 6. Deste modo as menores temperaturas máximas assumiram o valor de 32,52°C para o cenário 1, ao passo que as maiores temperaturas máximas registadas assumiram o valor de 33,10°C para o cenário 6. Entre estes dois cenários verifica-se uma diferença entre temperaturas máximas interiores de 0,58°C. Para o cenário 5 a temperatura máxima registada foi de 33,06°C.

Nos gráficos das figuras 5.6, 5.7 e 5.8, é visível que as temperaturas no interior da moradia em estudo vão aumentando de cenário para cenário. Isto deve-se a que cada alteração de cenário traduz-se num aumento de exposição solar. De facto no cenário 1, os edifícios em torno da moradia em estudo apresentam as alturas mais elevadas de entre todos os cenários analisados. Esta situação faz com que neste caso o edifício em estudo passe mais tempo coberto por sombra, esta diminuição da exposição solar, tende a diminuir as temperaturas que se fazem sentir no seu interior. Por outro lado no cenário 6, as alturas médias dos elementos exteriores ao edifício são as mais baixas, esta situação faz com que este acabe por ficar mais tempo exposto ao sol. Este aumento de radiação solar, traduz-se, num aumento das temperaturas que se fazem sentir no seu interior.

Nas simulações efetuadas considerou-se que a climatização do espaço interior da moradia seria feita com recurso a uma unidade de HVAC. Considerou-se ainda que a moradia em estudo seria ocupada por quatro pessoas e que a taxa de renovação de ar do espaço interior, seria de 0,6m³/h.

Tendo em conta a manutenção da sensação de conforto térmico no interior da moradia considerou-se que a unidade de climatização entraria em funcionamento sempre que as temperaturas no seu interior fossem superiores a 25°C ou inferiores a 18°C. Adicionalmente considerou-se que os estores das várias janelas da moradia estariam fechados sempre que a temperaturas verificadas no

exterior fossem superiores a 25°C. Esta situação acaba em período de verão por ser benéfica, pois não permite a entrada da radiação solar para o espaço interior da moradia.

Tendo em conta a temperatura mínima de conforto de 18°C, analisando a figura 5.7, em nenhum dos cenários analisados a unidade climatização terá de entrar em funcionamento para aquecer o espaço interior da moradia em estudo. De facto de entre todos os cenários analisados a menor das temperaturas mínimas assumiu o valor de 18,46°C, estando portanto 0,46°C acima da temperatura de conforto.

Para o período de arrefecimento a unidade de climatização terá de entrar em funcionamento para todos os cenários analisados. Tendo em conta a temperatura de conforto de 25°C e analisando a figura 5.8, teremos na melhor das hipóteses para o cenário 1 uma diferença entre a temperatura máxima e temperatura de conforto de 7,52°C, esta diferença vai aumentando até atingir o máximo de 8,10°C para o cenário 6.

Tendo em conta os resultados expostos nos gráficos das figuras 5.7 e 5.8, é perceptível que as necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior da moradia em estudo apenas dependem dos gastos com energia em período de arrefecimento, visto que as necessidades energéticas em período de aquecimento serão iguais a zero.

No entanto as necessidades energéticas em período de arrefecimento crescem à medida que as temperaturas máximas no interior do edifício aumentam, pois a unidade de climatização terá de fazer um “esforço” cada vez maior para arrefecer a massa de ar no seu interior.

Na figura 5.9, estão expostas as concentrações anuais de graus acima da temperatura de conforto de 25°C. Esta concentração foi determinada a partir da diferença entre a temperatura no interior da habitação e a temperatura de conforto para todas horas do ano, sempre que a temperatura interior fosse superior a 25°C.

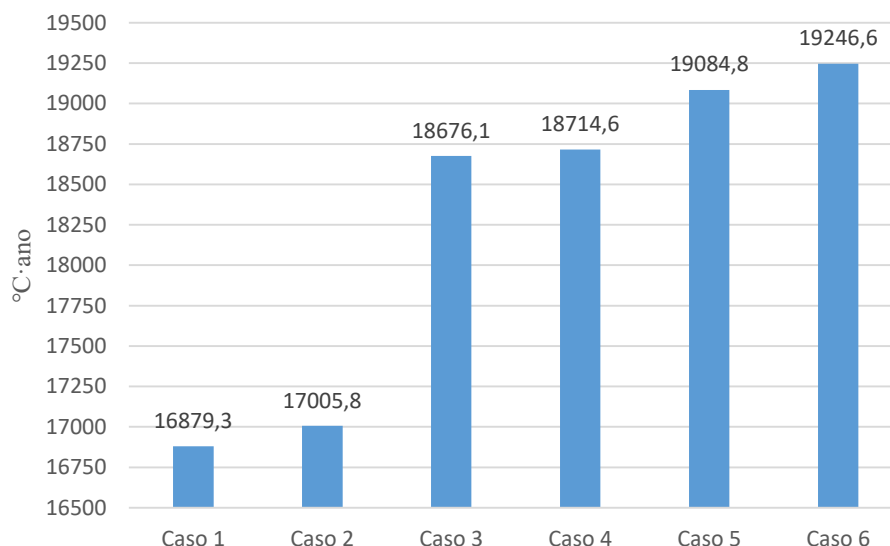


Figura 5.9 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto.

No gráfico da figura 5.9 temos a concentração de graus acima da temperatura de conforto, aumenta do cenário 1 para o cenário 6. Neste caso a menor carga a arrefecer será de 16879,3°C·ano, para o cenário 1, ao passo que a maior concentração de graus acima da

temperatura de conforto será de $19246,6^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$, para o cenário 6. Na moradia em estudo a unidade de climatização poderá na melhor das hipóteses ser dispensada de arrefecer um total de $2367,3^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$. Para o cenário 5, o que mais se aproxima da situação real, a unidade de climatização seria obrigada a arrefecer uma carga de $19084,8^{\circ}\text{C}\cdot\text{ano}$, de modo a manter a sensação de conforto térmico no interior da moradia em estudo.

Na figura 5.10, estão expostos os tempos de funcionamento totais da unidade de climatização. Neste caso é visível que os tempos de funcionamento aumentam do cenário 1 para o cenário 6.

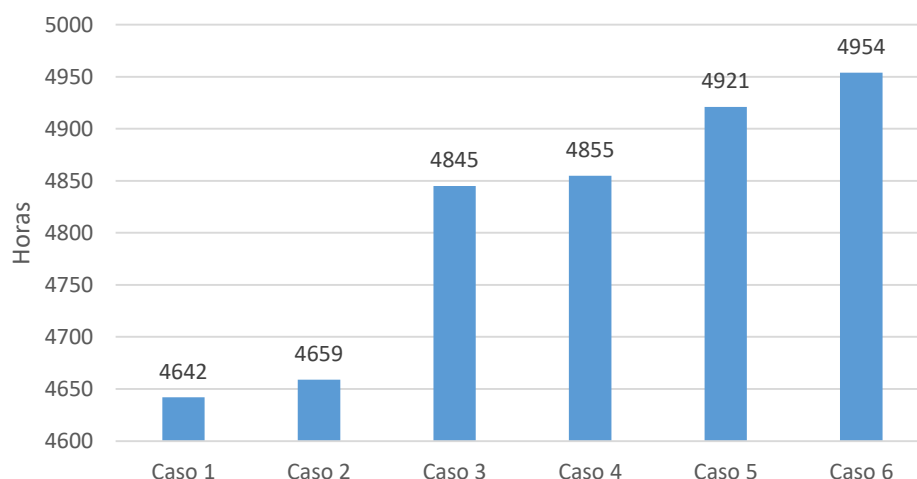


Figura 5.10 - Tempos de funcionamento (horas).

No gráfico da figura 5.10, os menores tempos de funcionamento da unidade de climatização foram de 4642 horas, para o cenário 1 e que os maiores tempos de funcionamento foram de 4954 horas, para o cenário 6. Neste caso a unidade de climatização poderia no máximo ser dispensada por um período de 13 dias, sem prejuízo da manutenção da sensação de conforto térmico no interior da moradia em estudo. Para o cenário 5, a unidade de climatização teria de trabalhar por um período de 4921 horas.

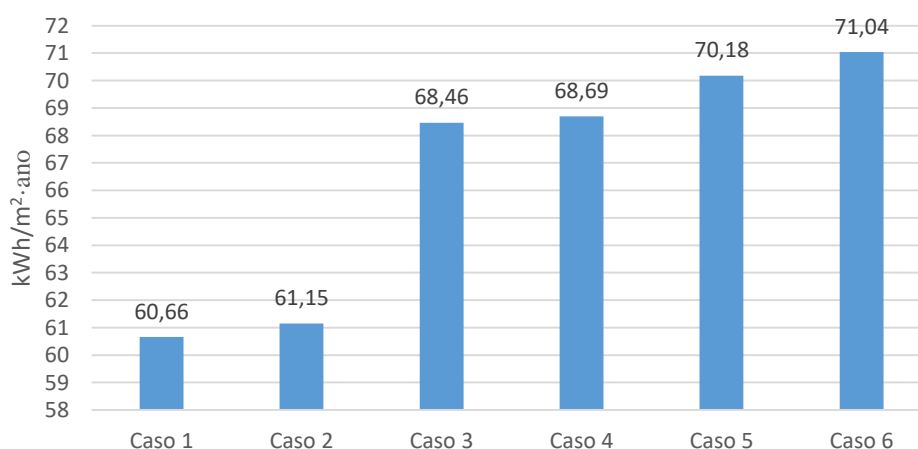


Figura 5.11 - Energia total para climatização.

No gráfico da figura 5.11 estão expostas as necessidades energéticas totais para climatização do espaço interior da moradia em estudo. Estas serão iguais às necessidades energéticas anuais para o período de arrefecimento. As necessidades energéticas da moradia em estudo aumentam do cenário 1 para o cenário 6. As menores necessidades energéticas registadas assumiram o valor de $60,66\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para o cenário 1, ao passo que as maiores necessidades energéticas assumiram o valor de $71,04\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para o cenário 6. Verifica-se existir uma diferença máxima entre necessidades energéticas de $10\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$. Realisticamente comparando as necessidades energéticas do cenário 5, com as necessidades energéticas do cenário 4, que representa a situação em que todos os lotes se encontram ocupados por moradias, é de esperar que as necessidades energéticas da moradia passem de $70,18\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ para $68,69\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$.

Analisando os gráficos das figuras 5.9, 5.10 e 5.11 em conjunto e tendo em conta que, de cenário para cenário, as alturas médias dos elementos exteriores à moradia em estudo diminuem, percebe-se que os menores consumos de energia estão associados aos casos em que a moradia está menos exposta ao sol. De facto maiores alturas da massa edificada em torno da moradia tendem a fazer com que esta passe mais tempo à sombra. A diminuição da exposição solar causa uma diminuição das temperaturas interiores. Em período de arrefecimento esta diminuição é positiva pois promove a sensação de conforto térmico. De facto como se vê no gráfico da figura 5.9, as menores concentrações anuais de graus a arrefecer estão associadas aos casos em que existem edifícios de 4 pisos nos quarteirões em torno da moradia em estudo. Estas concentrações vão aumentando à medida que a altura dos edifícios em torno do quarteirão central diminuem. No gráfico da figura 5.10 verifica-se a mesma tendência, a unidade de climatização terá de funcionar cada vez mais tempo à medida que as alturas médias dos elementos em torno da moradia em estudo começam a diminuir. De cenário para cenário, a moradia começa a receber cada vez mais cedo e cada vez durante mais tempo radiação solar. Esta situação acaba por fazer com que a temperatura que se faz sentir no seu interior esteja cada vez mais tempo fora dos parâmetros de conforto. O aumento do tempo de funcionamento da unidade de climatização, associado ao aumento de concentração de graus fora dos parâmetros de conforto, acaba por se traduzir em necessidades energéticas de climatização cada vez superiores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusão

Ao longo da presente dissertação procurou-se, tanto quanto possível, determinar de que modo o planeamento urbano poderia contribuir para uma melhor gestão energética do edificado.

Neste contexto, tentou identificar-se que influência teriam diferentes soluções urbanísticas sobre os consumos energéticos dos elementos individuais constituintes do espaço urbano.

Ao longo das várias simulações e como seria de esperar, verificou-se que edifícios com conjuntos de soluções construtivas mais fortes, com maior espessura de isolamento térmico, apresentam menores consumos energéticos do que edifícios que do ponto de vista da resistência térmica são mais fracos.

No entanto, para o clima da região de Lisboa verificou-se que consoante o tipo de soluções construtivas assumidas para os edifícios, o período condicionante de climatização alterar-se-ia.

Deste modo para edifícios com soluções construtivas mais fracas do ponto de vista da resistência térmica, verificou-se que o período condicionante seria o de Inverno.

Por outro lado para edifícios com soluções construtivas mais fortes, determinou-se que o período condicionante seria o de Verão.

Tendo em conta esta situação e após várias simulações, foi possível perceber que, para conjuntos de soluções construtivas mais fracas, formas geométricas dos lotes ou quarteirões mais próximas do quadrado, acabariam por diminuir as necessidades energéticas dos edifícios.

Verificou-se ainda que, para este tipo de soluções construtivas, características da malha urbana que promovam a exposição solar acabam por ter um efeito positivo nos consumos energéticos dos edifícios individuais. Nestes casos, maior exposição solar diminui as necessidades energéticas em período de aquecimento acabando por reduzir as necessidades energéticas totais.

Por outro lado, para conjuntos de soluções construtivas mais fortes do ponto de vista da resistência térmica, verificou-se que as formas de lotes ou quarteirões mais retangulares, ajudariam a diminuir as necessidades energéticas apresentadas pelos edifícios.

Para este tipo de soluções construtivas, características de malha que diminuam a exposição solar, acabam por reduzir as necessidades energéticas em período de arrefecimento, ajudando portanto a diminuir as necessidades energéticas totais.

Assim sendo, o planeamento urbano poderia ajudar a diminuir as necessidades energéticas de todos os elementos do espaço urbano, definindo para tal, uma geometria geral de lotes ou quarteirões, largura de ruas e altura recomendada para a massa edificada, que fosse adequada tanto ao clima como ao tipo de construções locais, ajudando em última análise a reduzir as necessidades energéticas dos edifícios individuais.

A definição da largura de ruas da malha urbana e da altura recomendada para os edifícios que a constituem, deverá adequar-se tanto quanto possível as necessidades energéticas dos edifícios em estudo.

No entanto para o caso português, como foi possível ver ao longo do trabalho, em novos edifícios, as necessidades energéticas para climatização dependem essencialmente do período de verão. Neste sentido, malhas com prédios altos ou ruas estreitas tendem a mitigar a exposição solar sobre os edifícios, ajudando a diminuir as necessidades energéticas totais que estes apresentam.

Neste contexto e como resumo verifica-se que embora o planeamento urbano não determine o tipo de soluções construtivas dos elementos que existem no espaço urbano, este pode ajudar a diminuir as necessidades energéticas dos edifícios individuais, adaptando para tal o desenho urbano ao tipo de necessidades apresentadas pelos edifícios.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

A eficiência energética é fundamental em todas as áreas da sociedade. No caso do planeamento urbano devem continuar a ser estudadas medidas que ajudem a promover a eficiência energética dos elementos que se inserem no espaço urbano.

Tendo em conta o trabalho desenvolvido ao longo da presente dissertação, seria interessante verificar se as tendências de desempenho energético apresentadas pelo modelo estudado, se mantêm para outro tipo de clima que não o de Lisboa.

Para além disso seria interessante verificar, para outros tipos de área em planta, se os resultados expressos ao longo do trabalho se manteriam consistentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE - Agência para a energia. (2015). Certificação Energética e Ar interior – Edifício de Habitação. Obtido a 12 de Novembro de 2017, de http://www.adene.pt/sites/default/files/documentos/certificado_adene_reh.v2.pdf
- ADENE - Agência para a energia. (2016). Eficiência Energética nos Edifícios – Novas métricas em 2016. Obtido a 12 de Novembro de 2017, de <http://www.adene.pt/noticias/eficiencia-energetica-nos-edificios-novas-metricas-em-2016>
- ADENE - Agência para a energia. (2016). Eficiência Energética nos Edifícios – Novas métricas em 2016. Obtido a 12 de Novembro de 2017, de <http://www.adene.pt/noticias/eficiencia-energetica-nos-edificios-novas-metricas-em-2016>
- ADENE - Agência para a energia. (2017). O que é. Obtido a 12 de Novembro de 2017, de <http://www.adene.pt/sce/o-que-e-1>
- Aelenei, D. (2015). Tutorial 1 EnergyPlus: Reabilitação Higrotérmica. Aulas Práticas, Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNL. Obtido a 12 de Novembro de 2017, de https://clip.unl.pt/utente/eu/aluno/informa%E7%E3o_acad%E9mica/unidade_curricular/edi%E7%E3o/actividade/documentos?tipo_de_per%EDodo_lectivo=s&ano_lectivo=2015&per%EDodo_lectivo=2&institui%E7%E3o=97747&aluno=49279&unidade_curricular=11381&tipo_de_documento_de_unidade=ta
- AGENAL - Agência Municipal de Energia de Almada. (Sem data). Espaço Energia: Energias não renováveis. Obtido a 2 de Novembro de 2017, de <http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreeID=00/01&treeID=00/01&newsID=7>
- Amado, M. (2002). O processo do planeamento urbano sustentável (Dissertação de Doutoramento). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Obtido a 5 de Novembro de 2017, de <http://run.unl.pt/handle/10362/8161>
- Amado, M. (2015). Planeamento urbano sustentável. Coleção: Pensar Arquitetura. Casal de Cambra: Caleidoscópio.
- APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis. (Sem data). ENE 2020: principais eixos - metas e objetivos a cumprir. Obtido a 27 de Setembro de 2017, de <http://www.apren.pt/pt/dadostecnicos/index.php?id=206&cat=197>
- APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis. (Sem data). Energias Renováveis: O que são. Obtido a 12 de Novembro, de <http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/o-que-sao/>
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. (2017). Standart 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Obtido a 15 de Novembro de 2017, de <https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-55-and-user-s-manual>

- AUTODESK. (2017). Sustainability Workshop: Human Thermal Confort. Obtido a 17 de Novembro de 2017, de <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort>
- BP - British Petroleum. (2016). BP Energy Outlook 2016 – Outlook to 2035. Obtido a 17 de Outubro de 2017, de <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016.pdf>
- Cardoso. (2010). História do Planeamento Urbano. Obtido a 10 de Novembro de 2017, de http://www.ecivilnet.com/artigos/planejamento_urbano.htm
- Carvalho, V. (2006). Contributos bioclimáticos para o planeamento urbano sustentável: medidas de mitigação e adaptação enquanto resposta às alterações climáticas. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11248/2/Texto%20integral.pdf>
- Carvalho, V., Monteiro, A. (2010). Proposta metodológica de análise bioclimática: O caso de estudo do Porto. Obtido a 22 de Novembro de 2017, de http://web.letras.up.pt/anamt/Publica%C3%A7%C3%B5es/Poster_Proposta%20Metodol%C3%B3gica%20de%20An%C3%A1lise%20Bioclim%C3%A1tica.ppt
- CEF - Conserve Energy Future. (Sem data). What is Energy: Varoius Forms of energy. Obtido a 1 de Novembro de 2017, de <https://www.conserve-energy-future.com/>
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística. (2014). Balanço Energético Sintético: 2013. Obtido a 9 de Outubro de 2017, www.dgeg.gov.pt/wwwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?tipo=1&id=27682
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística. (2015). Balanço Energético Sintético: 2014. Obtido a 9 de Outubro de 2017, www.dgeg.gov.pt/wwwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=15411
- DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística. (2016). Balanço Energético Sintético: 2015. Obtido a 9 de Outubro de 2017, www.dgeg.gov.pt/wwwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=15901
- Diário da Republica. Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, No. 70, 1ª Série (2013). Obtido de <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2013/04/07000/0202202091.pdf>
- DSOT - Direção de Serviços de Ordenamento do Território, Divisão de Gestão do Território. (2015). Novo Enquadramento Legal em Matéria de Ordenamento do Território e Urbanismo. Obtido a 10 de Novembro de 2017, de http://www.ccdr-lvt.pt/uploader/index.php?action=download&field=http://www.ccdr-lvt.pt/files/f139ffa1779b10129192a0aae51de4c08886cdcb.pdf&fileDesc=DGT_DSOT--NEL_CIM
- EEA - European Environment Agency. (2017). Continued Economic growth, obdtio a 13 de outubro de 2017, de <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/global/economic>

EIA - United States Energy Information Agency. (2017). Annual Energy Outlook 2017 - With projections to 2050. Obtido a 18 de Outubro de 2017, de [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)

EIA - United States Energy Information Agency. (2017). Annual Energy Outlook 2017 - With projections to 2050. Obtido a 18 de Outubro de 2017, de [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)

EIA - United States Energy Information Agency. (2017). Today Energy: EIA projects 28% increase in world energy use by 2040. Obtido a 12 de Outubro de 2017, de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32912>

Ellis, C. (2010). History of cities and city planning. Obtido a 19 de Novembro de 2017, de <http://www.art.net/~hopkins/Don/simcity/manual/history.html>

EnergyPlus. (2017). Weather Data By Location: All Regions, Europe WMO Region 6, Portugal. Obtido a 12 de Novembro de 2017, de https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/PRT/PRT_Lisboa.085360_INETI

ENI - Eniscuola Energy and Environment. (2010). Energy Sources: Primary and Secondary Sources. Obtido a 30 de Setembro de 2017, de <http://www.eniscuola.net/en/argomento/energy-knowledge/energy-sources/primary-and-secondary-sources>

Fainstein, Susan S. (2007). Urban Planning: City Planning, Town Planning, Urban Design. Obtido a 8 de Novembro de 2017, de <https://www.britannica.com/topic/urban-planning>

Fator Segurança. (2017). Ambiente Térmico. Obtido a 16 de Novembro de 2017, de http://www.factor-segur.pt/shst/docinformativos/Ambiente_termico.pdf

Fisher, Danielle. (2017). How will population growth affect energy?. Obtido a 16 de Outubro, de <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/population-growth-affect-energy.htm>

GaiUrb. (2016). Regulamento geral das edificações urbanas. Obtido a 18 de Novembro de 2017, de <http://www.gaiurb.pt/lex/RGEU.pdf>

Godinho, T. (2016). Base Arquitetura: Planta de implantação, Rua Al Berto nº21, Quinta de Valadares.

Goitia, Fernando Chueca. (1996). Breve História do Urbanismo. Editorial Presença.

Google Earth. (2017). Localização, Envolvente Quinta de Valadares, Marisol.

HSE – Health and Safety Executive. (2017). Thermal Comfort: The six basic factors. Obtido a 15 de Novembro de 2017, de <http://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/factors.htm>

IEA - International Energy Agency. (2016). Energy Policies of IEA Countries: Portugal, 2016 Review. Obtido a 28 de Setembro de 2017, de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Policies_of_IEA_Countries_Portugal_2016_Review.pdf

- Jordão, Pedro. (2017). População global: o impacto da evolução, Artigo de opinião. Jornal Público, versão On-line. Obtido a 19 de Outubro de 2017, de <https://www.publico.pt/2017/05/01/sociedade/noticia/populacao-global-o-impacto-da-evolucao-1770299>
- Lamberts, Roberto. (2004). Eficiência Energética na Arquitetura. Obtido a 14 de Novembro de 2017, de <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>
- Lamberts, Roberto. (2017). Desempenho Térmico de Edificações – Conforto Térmico. UFCS Florianópolis. Obtido a 15 de Novembro de 2017, de <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV%205161%20Aula%202%20-%20Conforto%20termico.pdf>
- Marins, K., Romério, M. (2012). Integração de condicionantes de morfologia urbana no desenvolvimento de metodologia para planeamento energético urbano. Obtido a 15 de Novembro de 2017, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000400009
- O Globo. (2015). Sustentabilidade – População Mundial. Obtido a 14 de Outubro de 2017, de <https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/populacao-mundial-vai-crescer-53-chegar-112-bilhoes-em-2100-diz-relatorio-da-onu-17003177#ixzz4tuEE9GzF>
- ONU, Centro Regional de Informação das Nações Unidas. (2009). Aumento da população mundial – Agravamento da crise da água. Obtido a 12 de Outubro de 2017, de <http://www.unric.org/pt/actualidade/22742>
- ONU, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2017). World Population Prospects: The 2017 Revisions. Obtido a 15 de Outubro de 2017, de https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf
- Pedro, C. (2017). Comportamento Térmico: Construção de habitação unifamiliar, Rua Al Berto nº21, Quinta de Valadares.
- Pereira, Luz Valente. (1982). Planeamento urbano. Coleção: Memória LNEC. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Santos, C. (2006). ITE 50: Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Versão atualizada 2006. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa
- Sonza, D., Linz, A., Ely, V. (2010). Simulação em malhas urbanas: Projeções de crescimento com foco na insolação. Obtido a 15 de Novembro de 2017, de <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper207.pdf>
- Stauffer, N. (2013). Urban sustainability: Designing resource-efficient, appealing cities. Obtido a 15 de Novembro de 2017, de <http://energy.mit.edu/news/urban-sustainability-designing-resource-efficient-appealing-cities/>

ANEXOS

Anexo I – Geometria e eficiência energética

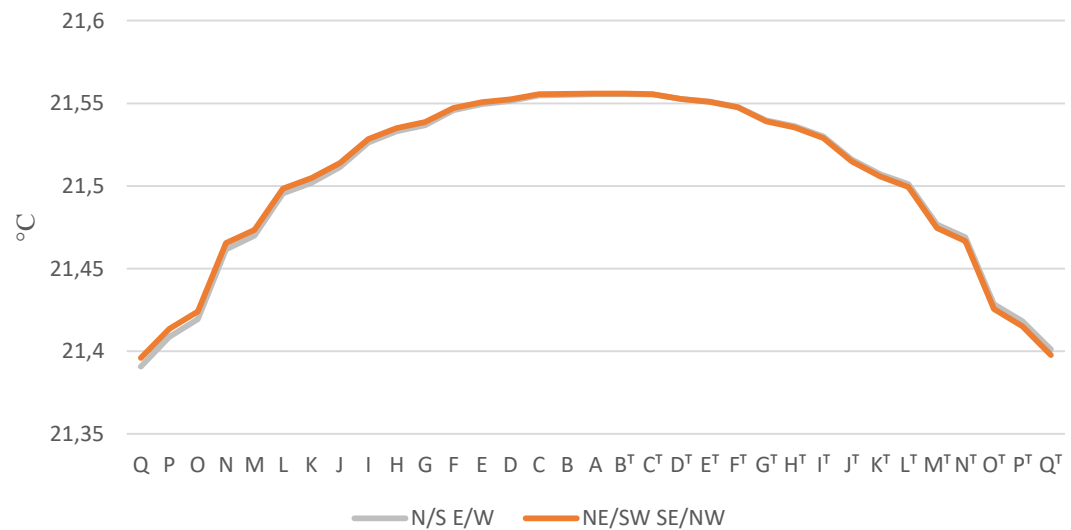


Figura A.1 - Temperatura interior média, M1.

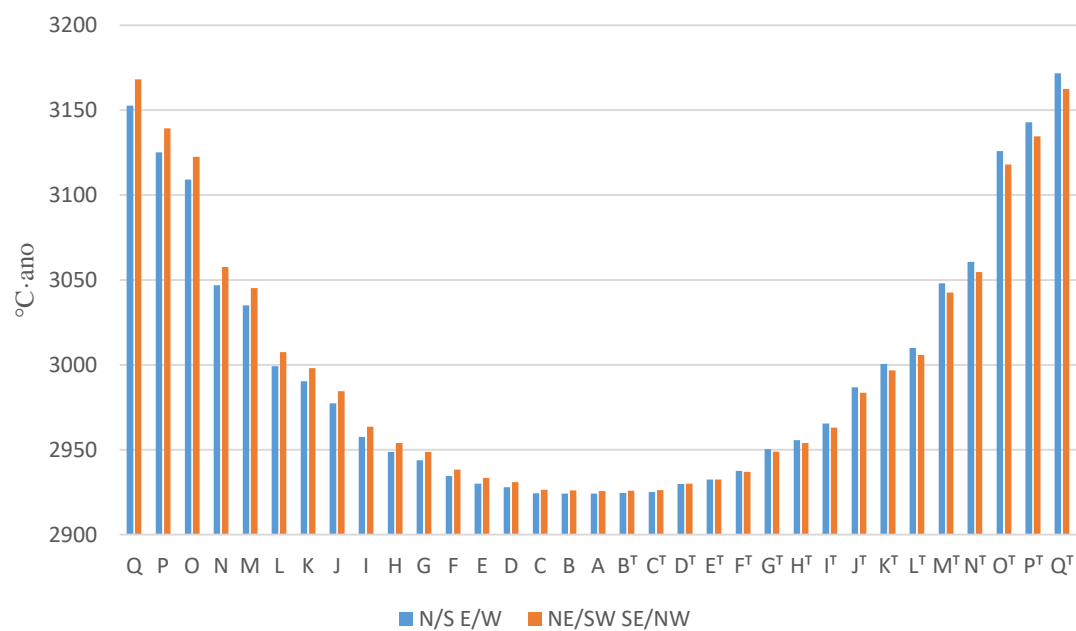


Figura A.2 - Total de temperaturas abaixo da temperatura de conforto. M1

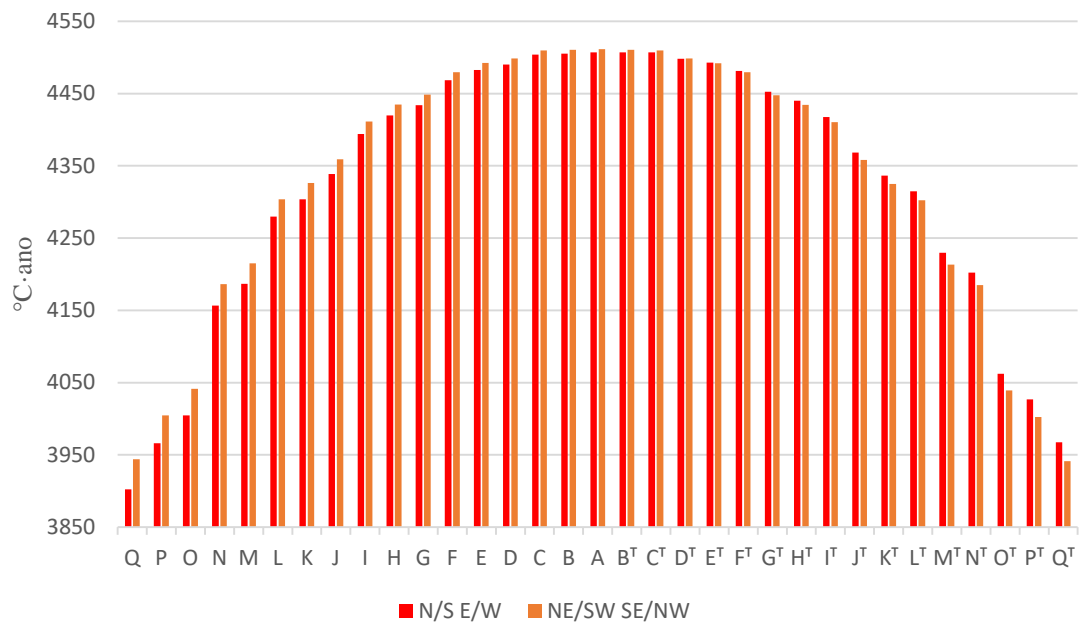


Figura A.3 - Total de temperaturas acima da temperatura de conforto M1.

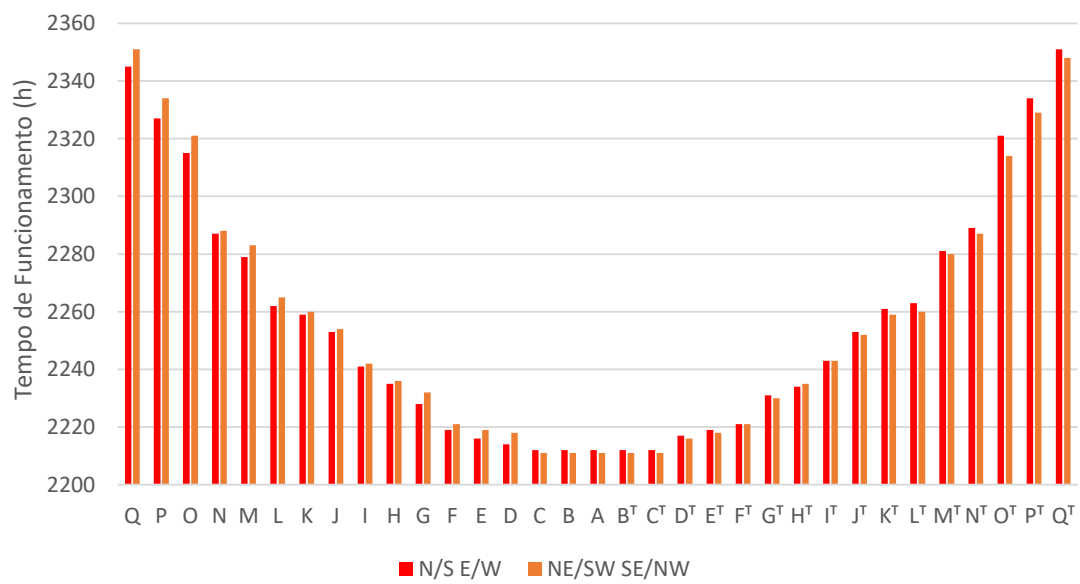


Figura A.4 - Horas de funcionamento em período de aquecimento M1.

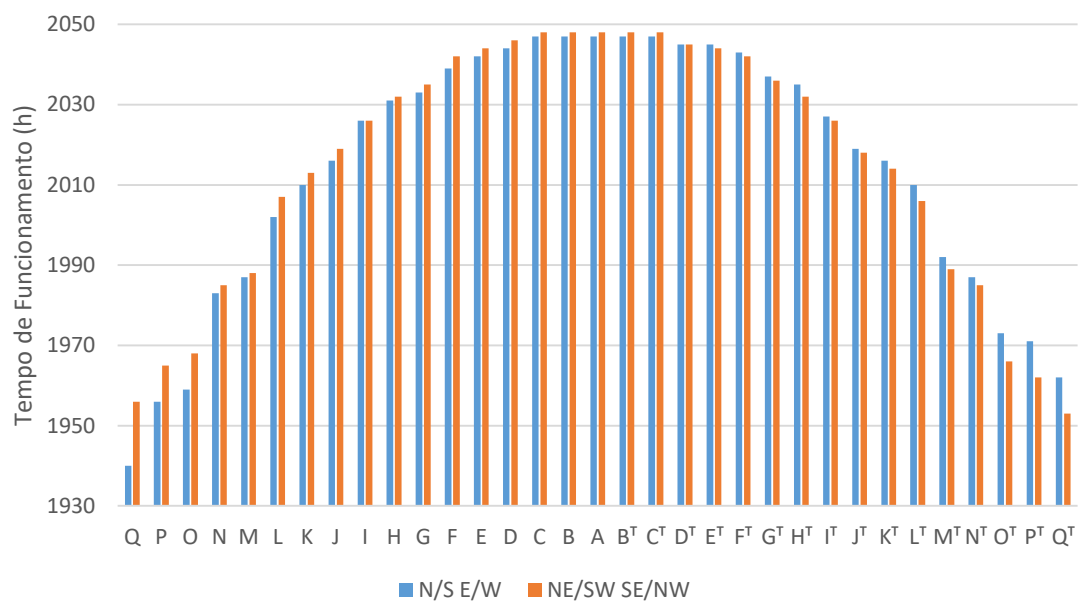


Figura A.5 - Horas de funcionamento em período de arrefecimento M1.

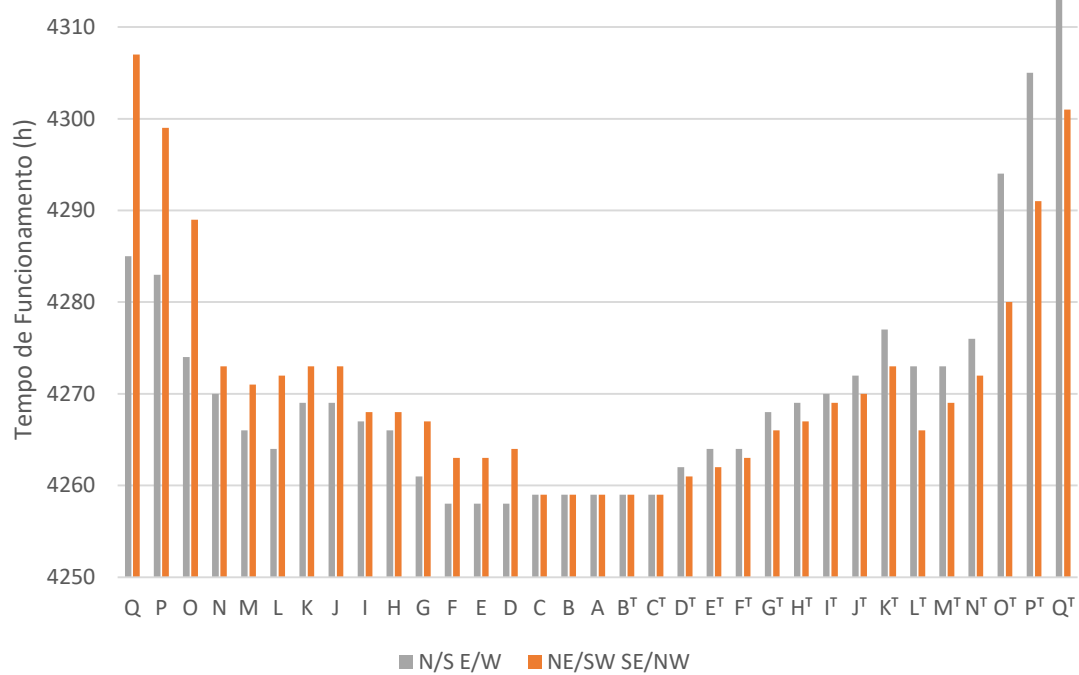


Figura A.6 - Horas totais de funcionamento da unidade de climatização M1.

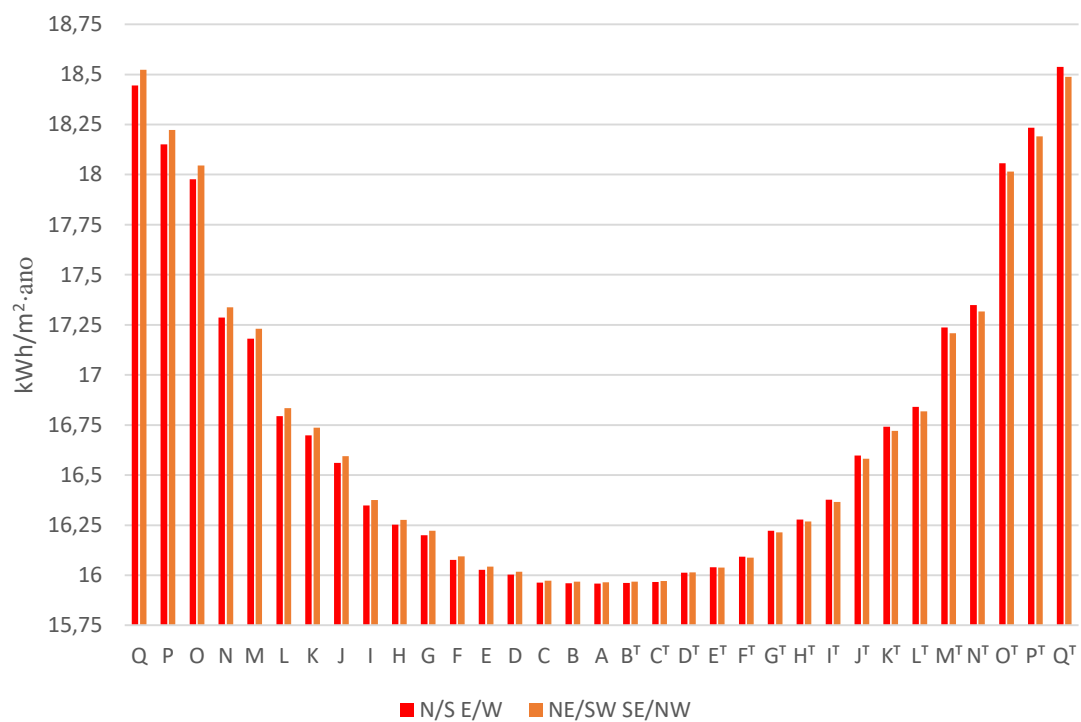


Figura A.7 - Necessidades energéticas período de aquecimento M1.

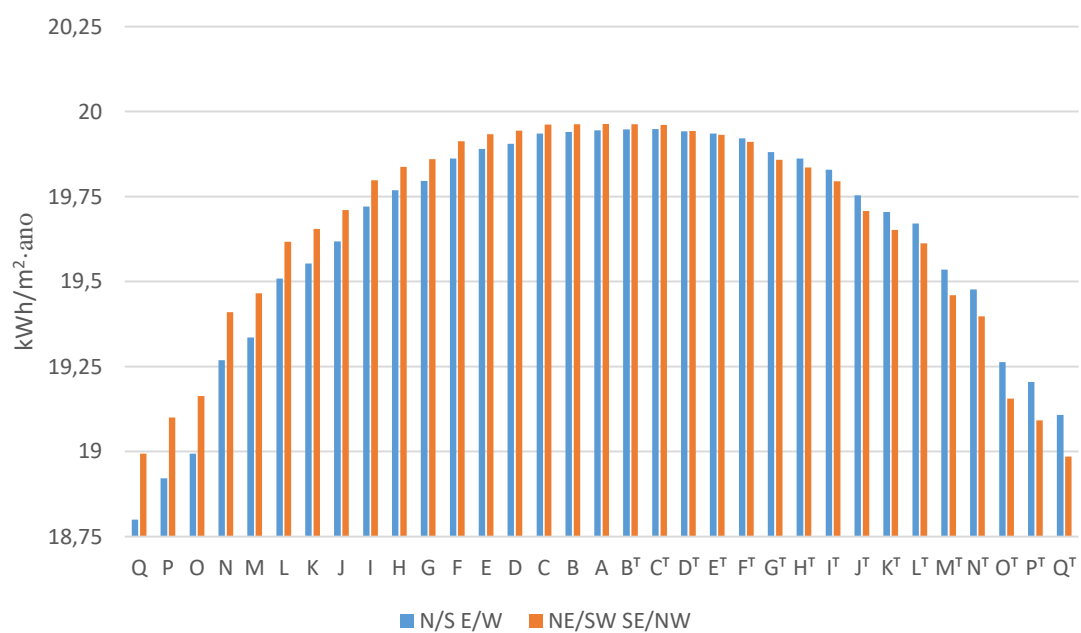


Figura A.8 - Necessidades energéticas período de arrefecimento M1.

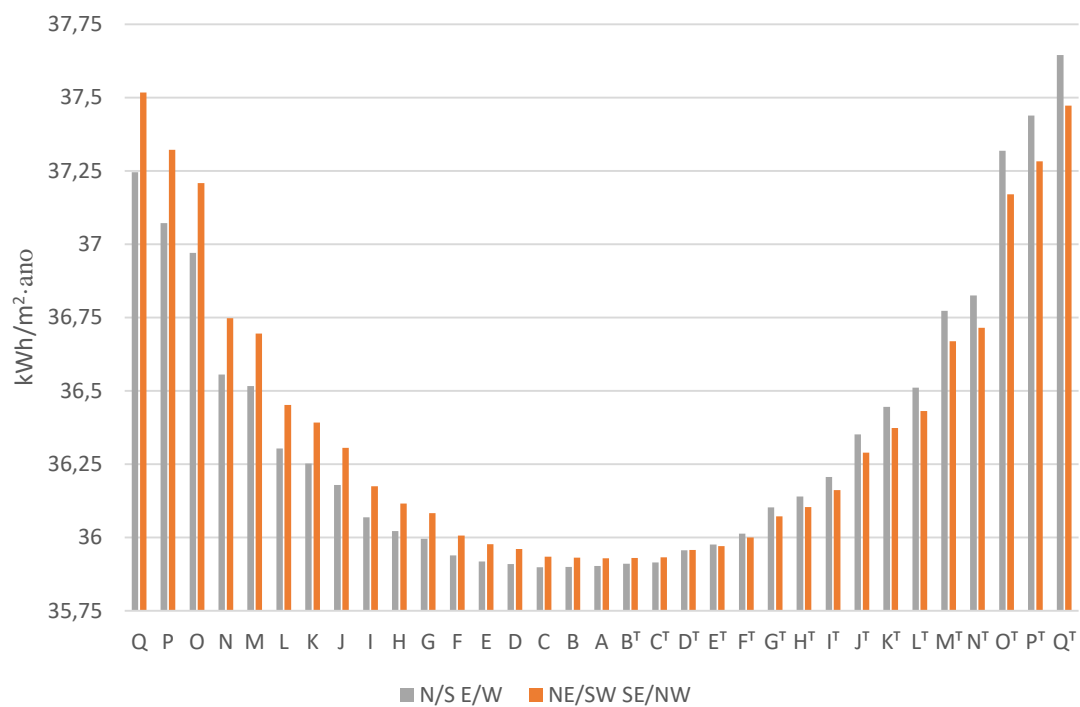


Figura A.9 - Necessidades energéticas totais para climatização M1.

Anexo II – Malhas urbana e eficiência energética

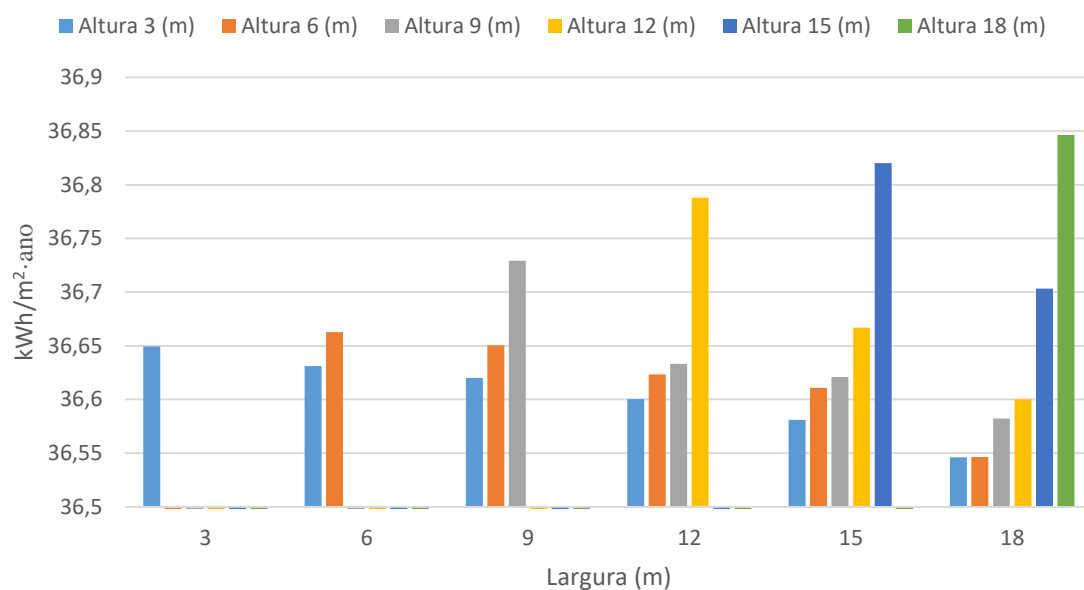


Figura A.10 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, orientação N/S E/W, SB

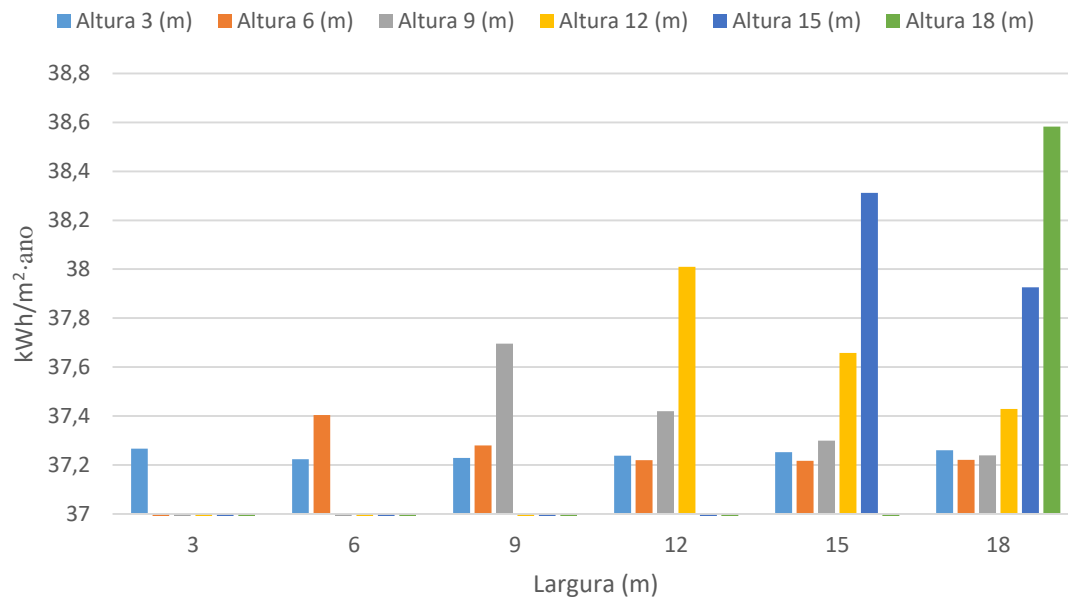


Figura A.11 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha retangular orientação N/S, SB.

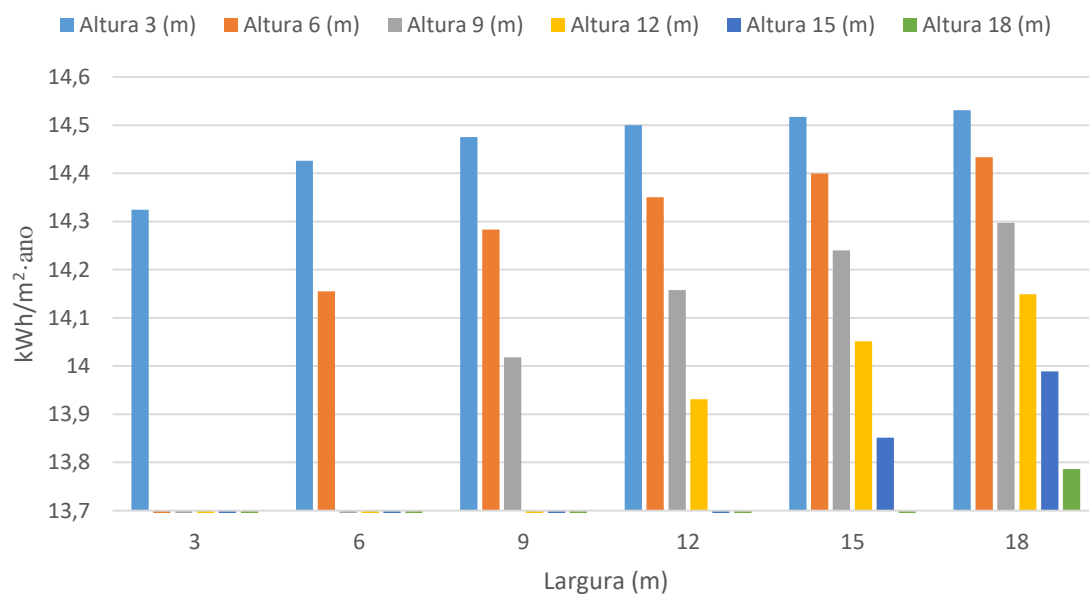


Figura A.12 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha quadrada, orientação N/S E/W, M2.

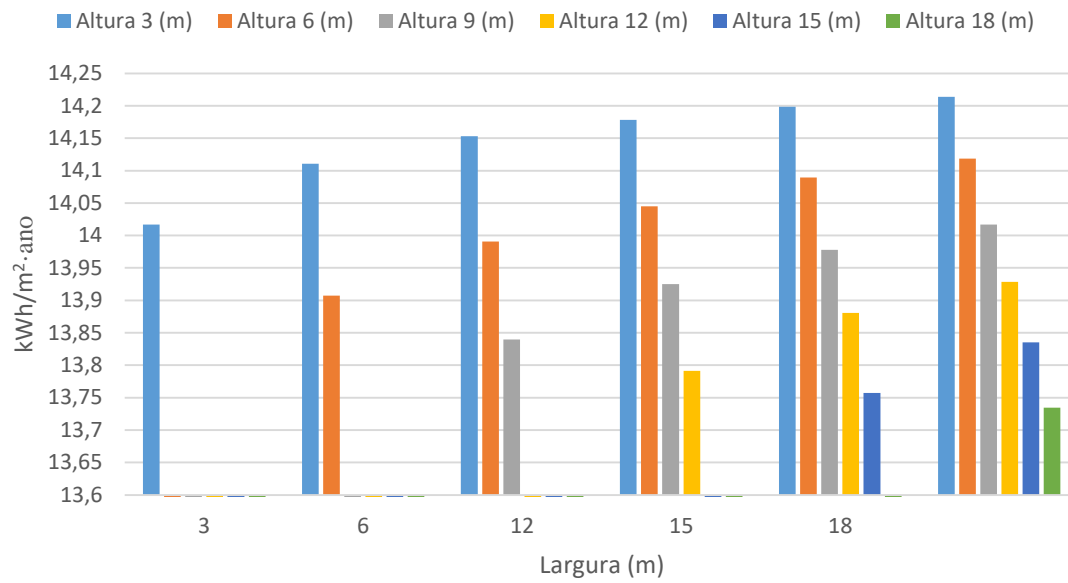


Figura A.13 - Necessidades energéticas totais para climatização, malha retangular orientação N/S, M2.

Anexo III – Caso de Estudo – Moradia Quinta de Valadares

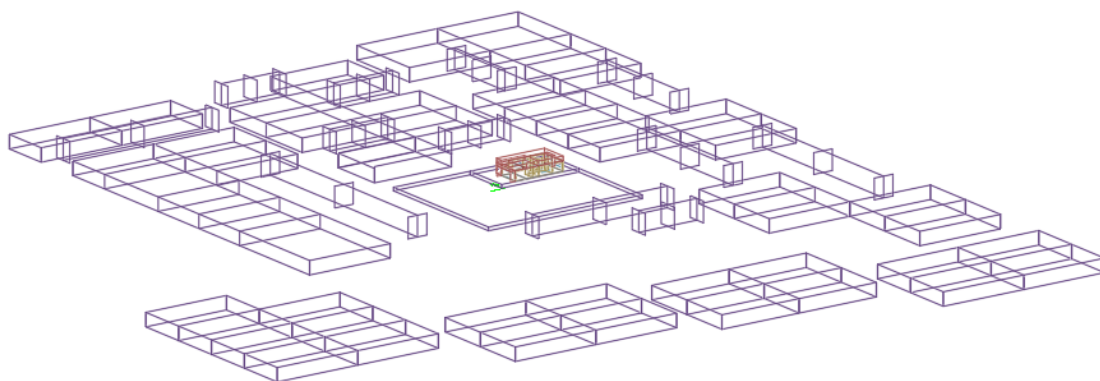


Figura A.14 – Cenário 5, modelo analisado, EnergyPlus.

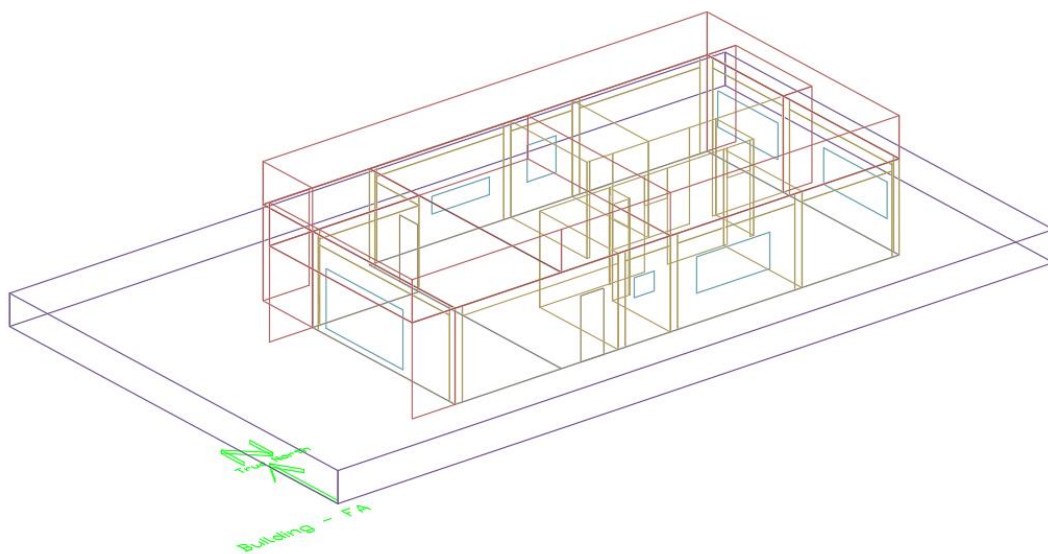


Figura A.15 – Caso de estudo, modelo analisado, EnergyPlus